VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

DIAGNOSTICKÝ MODUL PRO SBĚRNICI SINGLE-WIRE CAN

DIAGNOSTIC MODULE FOR SINGLE-WIRE CAN BUS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Michal Jež
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Zdeněk Havránek, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Michal Jež ***ID:*** 203240
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Diagnostický modul pro sběrnici Single-Wire CAN

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Popište základní vlastnosti sběrnice CAN a podrobněji rozeberte odlišnosti a specifika sběrnice Single-Wire CAN (SW-CAN). Zaměřte se na popis fyzické vrstvy SW-CAN a elektronických obvodů pro její realizaci.
2) Navrhněte jednoduchou diagnostickou jednotku s procesorem ARM pro příjem zpráv na sběrnici SW-CAN s možností jejich dalšího přenosu do počítače pro následnou analýzu.
3) Realizujte hardware diagnostické jednotky s využitím vhodného vývojového kitu na platformě s jádrem ARM a vybraného obvodu fyzické vrstvy. Naprogramujte firmware procesoru pro příjem zpráv na sběrnici a aplikaci na počítači pro jejich další zpracování.
4) Ověřte funkčnost příjmu zpráv po sběrnici SW-CAN a jejich uložení v počítači pro následnou analýzu.
5) Otestujte možnost příjmu zpráv generovaných pomocí zařízení disponující sběrnicí Low-Speed/Fault-Tolerant CAN a možnost použití této sběrnice jako přijímače zpráv generovaných na sběrnici SW-CAN.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Di Natale, Marco, et al. Understanding and using the controller area network communication protocol: theory and practice. Springer Science & Business Media, 2012. ISBN 9781461403142.

[2] Wolfhard, Lawrence. CAN system engineering: From theory to practical application. 2013. ISBN 9781447156123.

Termín zadání: 8.2.2021 ***Termín odevzdání:*** 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Havránek, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

Abstrakt

V rámci bakalářské práce jsou rozebrány základní vlastnosti CAN sběrnice. Dále se tato práce zabývá dostupností obvodů pro realizace CAN sběrnice a fyzické vrstvy Single Wire CAN. Následně je zpracován návrh diagnostické jednotky pro CAN sběrnici. Dále se zabývá návrhem firmwaru pro diagnostický modul a PC programem pro následnou analýzu dat. Na závěr je otestována kompatibilita sběrnice Single Wire CAN se sběrnicí Low Speed CAN.

Klíčová slova

CAN sběrnice, Single Wire CAN sběrnice, Low Speed CAN sběrnice, STM32F429 Discovery Kit, CAN diagnostika

Abstract

The basic properties of the CAN bus are analyzed in the bachelor's thesis. Furthermore, this work deals with the availability of circuits for the implementation of the CAN bus and the physical layer Single Wire CAN. Subsequently, the design of the diagnostic unit for the CAN bus is processed. It also deals with the design of firmware for the diagnostic module and a PC program for subsequent data analysis. Finally, the compatibility of the Single Wire CAN bus with the Low Speed CAN bus is tested.

Keywords

CAN bus, Single Wire CAN bus, Low Speed CAN bus, STM32F429 Discovery Kit, CAN diagnostic

Bibliografická citace

JEŽ, Michal. Diagnostický modul pro sběrnici Single-Wire CAN. Brno, 2021. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134863. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Zdeněk Havránek.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	*Michal Jež*
VUT ID studenta:	*203240*
Typ práce:	*Bakalářská práce*
Akademický rok:	*2020/21*
Téma závěrečné práce:	*Diagnostický modul pro sběrnici Single-Wire CAN*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 24. května 2021 ----------

podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

ÚVOD

V moderních automobilech můžeme nalézt čím dál více zařízení a senzorů, kterými se výrobci snaží vylepšit komfort automobilů a informovat řidiče o všem důležitém, aby dojeli do servisu dříve, než bude auto nepojízdné apod. Tato zařízení z pravidla musí mezi sebou komunikovat, pro tyto účely vznikly standardizované sběrnice. Nejběžnější sběrnice v automobilovém průmyslu je sběrnice CAN. Tato sběrnice již vznikla v několika provedeních, podle požadavků na robustnost, přenosovou rychlost, cenu apod. Díky svým vlastnostem si tato sběrnice našla uplatnění i v jiných oborech.

Cílem této práce je navrhnout a zprovoznit diagnostickou jednotku, která dokáže komunikovat po sběrnici Single Wire CAN a se sběrnicí Low Speed/Fault Tolerant CAN a bude ukládat data do PC pro následnou analýzu. Dalším cílem je vyzkoušet je-li možná komunikace mezi přijímačem Low Speed CAN a Single Wire CAN.

V první části této bakalářské práce se seznámíme s CAN sběrnicí, dále je více podrobněji rozebrána fyzická vrstva Single Wire CAN. Ve třetí kapitole můžeme nalézt přehled některých obvodů pro realizaci sběrnice CAN. V praktické části se práce zabývá hardwarovým návrhem diagnostické jednotky. Dále je v práci rozebrán firmware pro diagnostickou jednotku a počítačový program, se kterým jednotka komunikuje za pomocí USB sběrnice. V závěru této práce je proveden test komunikace diagnostické jednotky a je vyzkoušena komunikace Single Wire CAN se sběrnicí Low Speed CAN.

1. POPIS CAN SBĚRNICE

Controller Area Network (CAN bus) je sériová sběrnice původně vyvinutá firmou Robert Bosch GmbH. Sběrnice byla původně vyrobena pro automobilový průmysl, ale díky svým vlastnostem, kterými disponuje si našla uplatnění i v jiných odvětvích.

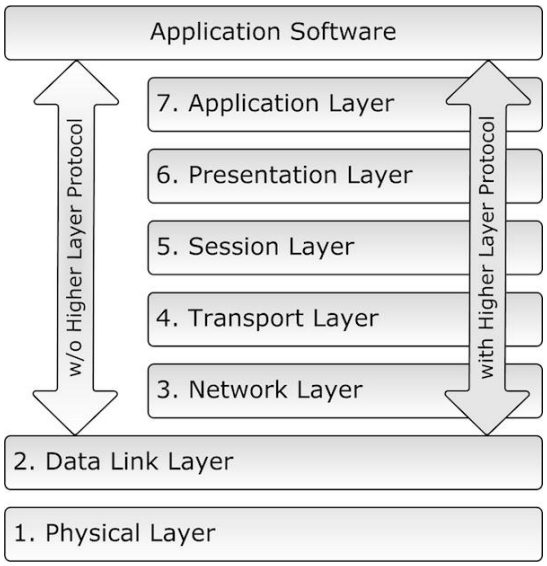
Oproti tradičním sběrnicím jako například Ethernet nebo USB, CAN neposílá objemná data z jednoho zařízení do druhého. Krátké zprávy, jako například teplota, tlak, otáčky za minutu, jsou posílány formou broadcastu (všechna zařízení připojená na sběrnici přijímají všechny zprávy). [1]

Mezi základní vlastnosti CAN sběrnice patří:

- Priorita zpráv a garance maximální latence
- Multicast komunikace
- Multimaster
- Detekce chyb s následným opětovným posláním chybné zprávy
- Detekce uzlu, který zahlcuje sběrnici chybnými zprávami a následné odpojení tohoto uzlu

1.1 Komunikační vrstvy

Jako ostatní moderní komunikační protokoly CAN respektuje model ISO/OSI. Standardní implementace obchází spojení mezi vrstvou datovou a aplikační. Při použití protokolů vyšších řádů jsou tyto vrstvy implantované v těchto protokolech.



Obrázek 1.1 OSI referenční model CAN sběrnice [2]

1.1.1 Fyzické vrstvy

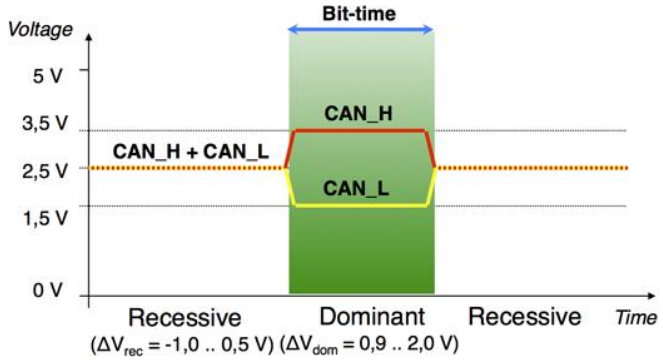
CAN umožňuje použít několik různých fyzických vrstev, dle požadavku na rychlost, robustnost a cenu.

Fyzická vrstva definuje úrovně napětí na sběrnici, použití typu vedení, maximální délku a rychlost sběrnice, impedanční zakončení sběrnice apod. Obvod, který zprostředkovává fyzickou vrstvu se nazývá transceiver.[3]

High-Speed

High-speed CAN je nejběžnější fyzická vrstva, je popsaná normou ISO 11898-2. Přenos bitů je prováděn pomocí diferenciálních napětí. Vodiče přenášející data jsou pojmenované CAN_H(igh) a CAN_L(ow).

Pro recesivní bit je na CAN_H a CAN_L standardně stejné napětí a to 2,5 V. Při dominantním bitu je napětí na CAN_H 3,5 V a CAN_L 1,5 V. Tolerance diferenciálního napětí je 0,9 V až 2,0 V pro dominantní bit a -1,0 V až 0,5 V pro recesivní bit.



Obrázek 1.2 Napěťové úrovně bitů CAN HS [4]

Maximální přenosová rychlost je 1 Mbit/s, při této rychlosti je teoreticky možný přenos po 40 m dlouhé lince. Však s použitím reálného hardwaru (kabely, konektory, receivery apod.) je tato vzdálenost mnohem menší.

Maximální počet uzlů na sběrnici norma neudává, je však limitovaná elektrickým zatížením sběrnice.

Standardně je sběrnice zakončena na obou stranách 120 Ω odpory (terminátory). Tyto odpory zabraňují odrazy signálu od konce vedení. [4]

Low-Speed

Low-speed CAN, nebo také nazýván fault-tolerant CAN, může komunikovat až rychlostí 125 kbit/s, která je popsaná normou ISO 11898-3. Typicky se Low-speed CAN požívá tam, kde není vyžadována vysoká rychlost, ale vyšší odolnost proti okolnímu rušení (např. kabely procházející přes dveře) nebo v situacích, kdy vyžadujeme vysokou úroveň zabezpečení (např. ovládání brzdových světel).

Na sběrnici je možno připojit až 32 zařízení. Topologie sběrnice nemusí být striktně lineární, ale každý uzel by měl obsahovat terminátory.
Napětí na obou datových vodičích nemusí být symetrické, v mezních případech může komunikace probíhat pouze po jednom vodiči.

Single Wire
Tato fyzická vrstva se používá v nízkorozpočtových aplikacích, kde není brán důraz na vysokou přenosovou rychlost. Jak už z názvu napovídá, komunikace je prováděna po jednom vodiči, tím jsou ušetřeny finance na realizaci sítě. Normální přenosová rychlost po této sběrnici je 33.33 kbit/s. Podrobnosti o této fyzické vrstvě jsou v kapitole 2.

Point-to-Point
Tato fyzická vrstva je popsaná normou ISO 11992. Slouží k přenosu mezi dvěma zařízeními, jako například mezi autem a přívěsem. Přenosová rychlost je 125 kbit/s s maximální délkou vedení 40 m. [5]

1.1.2 Linková vrstva

Tato vrstva má za úkol přenos dat mezi jednotlivé uzly na sběrnici. Linková vrstva zprostředkovává navázání a ukončení spojení. Taktéž je zodpovědná k detekci a opravě chyb, které mohou vzniknout na fyzické vrstvě. Linkovou vrstvu můžeme rozdělit na dvě podvrstvy:

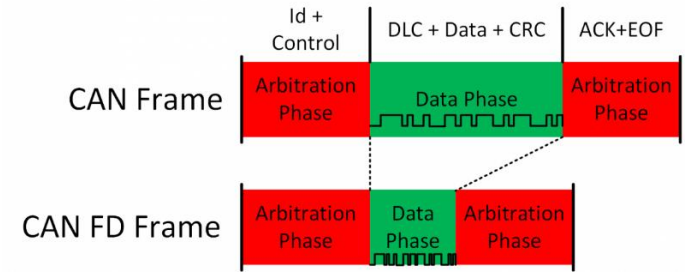
1. MAC (Media Access Control) definuje, jakým způsobem mají zařízení na sběrnici přistupovat k médiům. Zajišťuje zapouzdření a odpouzdření dat, detekci chyb a signalizaci.
2. LLC (Logical Link Control) je zodpovědná za filtrování přijatých zpráv, oznámení přetížení a řízení obnovy.

Momentálně se používají 2 standardy, a to CAN 2.0, obvykle nazývaný jako klasický CAN a CAN Flexible Data-Rate. [6]

CAN 2.0A/B
Původní standard CAN 2.0A byl vydán v roce 1993. V roce 1995 vyšel standard CAN 2.0B. CAN 2.0A podporuje pouze identifikátory o délce 11 bitů, kdežto ve standardu CAN 2.0B byly přidány ještě 29 bitové identifikátory.

CAN FD
CAN FD (CAN with Flexible Data-Rate) je nejnovější verze protokolu CAN, která umožňuje vyšší přenosové rychlosti, delší datové rámce a lepší detekci chyb. Tato verze protokolu vyšla v roce 2012, v roce 2015 byla standardizovaná. Oproti klasické CAN 2.0 je možno odesílat datové rámce nejen o velikosti 0-8 bajtů, ale také o délce 12, 16, 20, 24, 32, 48, 64. Využívá pro ně DLC kódy 1001b až 1111b, tím se zvýší efektivnost odesílání dat.

Pro zvýšení rychlosti přenosu je CAN FD rámec rozdělen na dvě části – arbitrační a datová fáze. Arbitrační část je přenášena normální rychlostí, datovou část je možno přepnout na vyšší přenosovou rychlost, tím zkrátit délku přenosu. Proto každé zařízení v síti musí znát obě přenosové rychlosti. [7]



Obrázek 1.3 CAN FD navýšení rychlosti přenosu pro datový rámec [7]

1.1.3 Protokoly vyšších vrstev

Přestože je sběrnice velice efektivní pro menší aplikace, není příliš vhodná pro posílání objemných dat, jelikož je limitovaná velikostí jedné zprávy, která má maximální délku 8 bajtů. Proto vznikly protokoly vyšších vrstev. Jako například CANopen pro ovládání pohybu, DeviceNet pro průmyslovou aplikaci, nebo SAE J1939 pro automobilový průmysl. Protokoly vyšších vrstev umožňují posílat neomezenou délku zpráv, umožňují definovat komunikační model Master/Slave a mohou poskytovat správu sítě (start sítě, monitorování uzlů, synchronizace uzlů apod.). [2]

1.2 Mechanismy ošetřovaní chyb

Hlavní zvýšenou prioritou při komunikaci na sběrnici CAN je robustnost. Proto sběrnice disponuje několika mechanismy zabezpečení.

Každé zařízení připojené na CAN sběrnici se snaží zachytávat každou chybu, i když se ho přenášená zpráva netýká. Pokud některý uzel detekuje chybu, je vyslán Error Flag, který zastaví přenos na sběrnici a informuje ostatní zařízení o příčině chyby, aby mohla být provedena vhodná opatření.

Každé zařízení má 2 čítače chyb: čítač pro chybu příjmu a chybu vysílání, které se podle určitých pravidel inkrementují či dekrementují. Pokud některý z čítačů překročí přes určitou hodnotu, je nejdřív přepnutý uzel do módu „error passiv“, ve kterém může stále odesílat zprávy, po překročení další hodnoty se uzel odpojí od sběrnice, aby ji dále nezahlcoval chybnými zprávami.

Protokol využívá 2 mechanismy detekce chyb na bitové úrovni a 3 mechanismy na úrovni zprávy: [8]

1. Monitorování bitů – každý uzel, který odesílá zprávu kontroluje, jestli odesílané bity jsou stejné i na sběrnici.

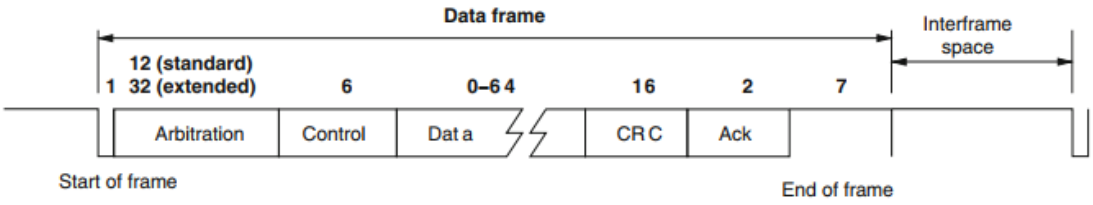
2. Vkládání bitů (bit stuffing) – pokud je na sběrnici vysíláno pět po sobě jdoucích stejných bitů, je do zprávy navíc vložen bit opačné úrovně. Příjemce tento bit odstraní.
3. Kontrola zpráv (frame check) – některé části zpráv mají fixní hodnotu. Pokud v některých těchto částech je detekovaná jiná hodnota, je generovaná chyba.
4. Potvrzení přijetí zprávy – každý uzel, který správně příjme zprávu, ji potvrzuje ACK bitem.
5. CRC kód – každá zpráva obsahuje 15bitový kontrolní součet CRC.

1.3 Typy zpráv na sběrnici

CAN 2.0 využívá 4 druhy zpráv: Datová zpráva (Data frame), žádost o data (Remote frame), chybová zpráva (Error frame) a zpráva o přetížení (Overload frame). U novější normy CAN FD Remote framy nejsou.

1.3.1 Datová zpráva

Nejběžnější typ zprávy, který zprostředkovává přenos dat mezi zdrojovým uzlem a jedním nebo více příjemců. CAN 2.0 definuje dva typy zpráv, a to: standardní zprávu s 11bitovým identifikátorem a rozšířenou zprávu s 29bitovým identifikátorem. Oba typy zpráv mohou být přenášeny na stejné sběrnici, či odesílány ze stejného uzlu. Identifikátor určuje jak typ zprávy, tak i prioritu zprávy.



Obrázek 1.4 CAN datová zpráva [9]

Datová zpráva vždy začíná dominantním bitem (Start of frame), který dává najevo aktivitu na sběrnici. Dále pokračuje identifikační částí (Arbitation), která mimo jiné obsahuje i bit RTR, který určuje, zda se jedná o datovou zprávu nebo žádost o zprávu. Další část zprávy je kontrolní část (Control), který obsahuje délku přenášené zprávy. Poté následují samotná přenášená data, která mohou být o délce až 8 bitů. Po datové části je odesílán kontrolní součet CRC a 2 potvrzovací bity (Ack) - jeden pro potvrzení od příjemce, druhý oddělovač. Poté je zpráva zakončena 7 recesivními bity (End of frame).

1.3.2 Žádost o data

Zpráva pro žádost o data (Remote Frame) je téměř identická jako obyčejná datová zpráva, akorát neobsahuje datovou část a RTR bit, který je obsažen v identifikační části zprávy, má dominantní úroveň. Identifikátor pak určuje požadovanou zprávu.

1.3.3 Chybová zpráva

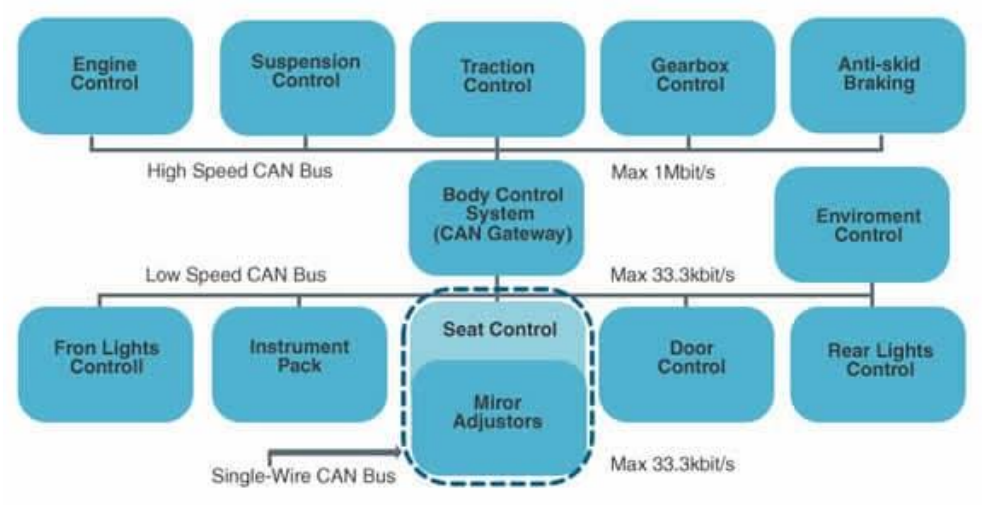
Nejedná se o skutečnou zprávu, ale o signalizaci chyby vzniklé na sběrnici. Jakmile jakýkoliv uzel detekuje chybu na sběrnici, vygeneruje okamžitě chybovou zprávu. Podle toho, v jakém je stavu, uzel generuje buď aktivní (6 dominantních bitů), nebo pasivní chybu (6 recesivních bitů).

1.3.4 Zpráva o přetížení

Tato zpráva slouží k oddálení vysílání další zprávy nebo žádosti o zprávu na sběrnici. Vysílají ji uzly, které nejsou schopné přijímat a zpracovat další zprávu. Podobně jako u chybové zprávy je vysíláno 6 dominantních bitů, ale může být vysílaná pouze po konci zprávy. [9]

2. FYZICKÁ VRSTVA SW-CAN

Tato sběrnice se využívá v aplikacích, kde není brán důraz na vysokou rychlost a délku sběrnice, ale je brán důraz na výslednou cenu, jak za vedení kabelu, tak i za procesory, protože tuto komunikaci dokážou zpracovávat i pomalejší procesory. Komunikace je prováděna pouze po jednom vodiči, takže není oproti běžné CAN sběrnici příliš robustní. Nejběžněji se tato komunikace používá u „komfortní“ elektroniky v motorových vozidlech, jako například ovládání polohovatelné sedačky, ovládání polohy zrcátek, ovládání klimatizace apod. [10]



Obrázek 2.1 Topologie CAN sběrnice automobilu [10]

2.1 Komunikační módy

SW CAN sběrnice dokáže pracovat ve dvou rychlostních módech:

Normální komunikační mód – rychlost přenosu je běžně 33,333 kbit/s.

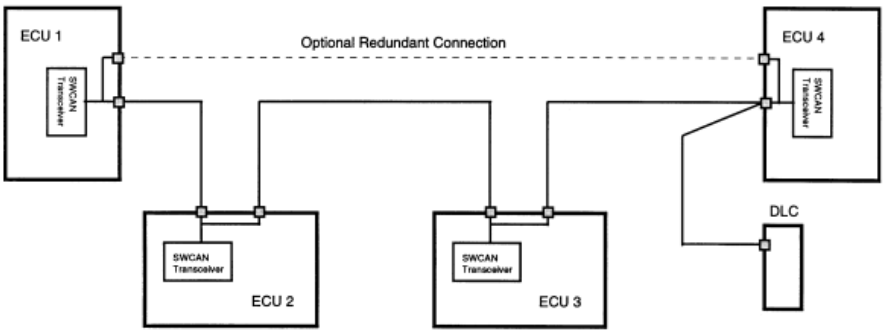
Vysokorychlostní komunikační mód – vysokorychlostní mód se používá pro stažení dat po připojení diagnostické jednotky do sítě. Přenosová rychlost může být až 83,333 kbit/s v závislosti na počtu uzlů v síti. Některé diagnostické nástroje mohou však pracovat pouze na fixní komunikační rychlosti 83,333 kbit/s z důvodu zjednodušení.

Všechny uzly na sběrnici se mohou přepnout do vysokorychlostního módu, pokud jim dá příkaz diagnostika. [11]

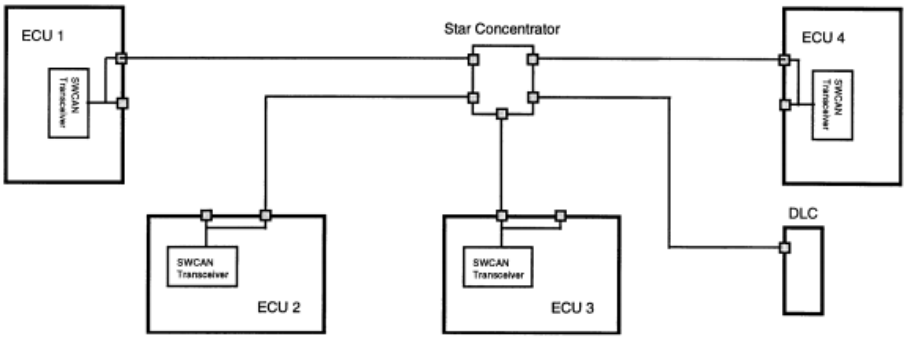
2.2 Topologie sítě

Jednotlivá zařízení na sběrnici mohou být zapojena do kruhové topologie (ring topology), hvězdicová topologie (star topology), nebo kombinace obou topologií. Při použití hvězdicové topologie, uzel může mít pouze jeden pin pro připojení na SW CAN

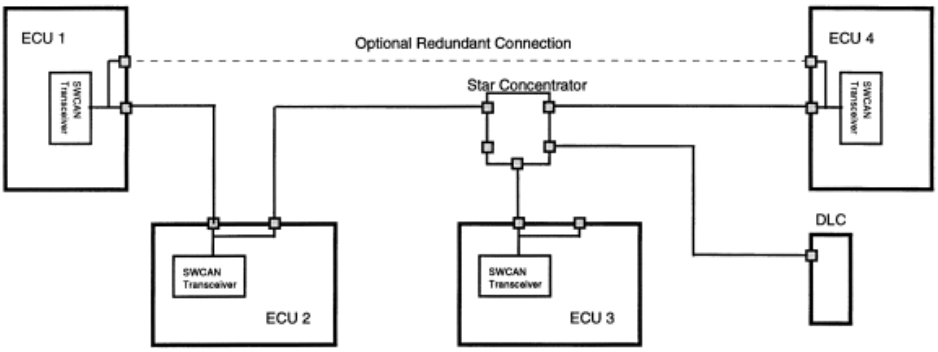
sběrnici. U kruhové topologie by měly být piny pro připojení ke sběrnici ve stejném konektoru a zkratované s nejkratší vodivou cestou.



Obrázek 2.2 Kruhová topologie sběrnice SW CAN [12]



Obrázek 2.3 Hvězdicová topologie sběrnice SW CAN [12]



Obrázek 2.4 Kombinovaná topologie sítě [12]

Maximální délka sběrnice je odvozena počtem připojených uzlů na sběrnici a R-C charakteristiky vodiče. Vzdálenost mezi uzly by však neměla překročit vzdálenost 60 metrů. Vzdálenost servisního nástroje mimo vozidla by neměla překročit vzdálenost pěti metrů. [12]

2.3 Obvody pro realizaci fyzické vrstvy SW-CAN

Pro realizaci fyzické vrstvy SW-CAN se používají integrované obvody, které se nazývají transceivery. Standardně se připojují ke CAN kontrolerům podporující standard CAN 2.0B. Na trhu jsou dostupné 3 obvody od různých výrobců. Obvody se vyrábějí ve 2 pouzdrech, a to v SOIC 8 8pinové variantě a v SOIC 14 14pinové variantě. 14pinová varianta má navíc pin pro spínání regulátoru napětí k procesoru při připojení baterie.

TH8056

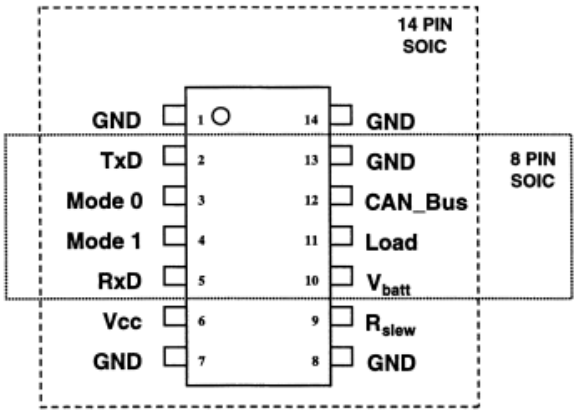
TH8056 je integrovaný obvod od firmy Melexis, který je plně kompatibilní s normou GMW3089 V2.3 a J2411. Obvod se vyrábí ve dvou pouzdrech 8 a 14pinový SOIC, 14pinová verze má navíc vyvedený konektor pro spínání externího regulátoru napětí. Operační napětí toho obvodu je 5 až 27 V.

NCV7356

Obvod od firmy NXP, kompatibilní s GMW 3089 V2.4 a J2411 specifikacemi. Stejně jako předchozí obvod se vyrábí ve dvou variantách – v pouzdře SOIC-8 a SOIC14. Pracuje při napětí od 5 až 27 V.

MC33897

Tranceiver, původně od firmy Freescale (dnes už NXP), je kompatibilní s normou GMW3089 V2.4. Je vyráběný pouze ve 14pinovém pouzdře SOICN s výstupním konektorem pro spínání externího regulátoru napětí.



Obrázek 2.5 Typické rozložení pinů SW CAN receiveru [13]

3. DOSTUPNÉ OBVODY PRO REALIZACI CAN SBĚRNICE

Jelikož je CAN nejrozšířenější sběrnice používána v automobilovém průmyslu, lze na trhu objevit celou řadu procesorů od různých výrobců, které mají v sobě zabudovaný CAN kontroler, který zprostředkovává linkovou vrstvu CAN sběrnice.

3.1 ARM procesory

Firma NXP vyrábí procesory řady **S32S24**, které jsou přímo určené pro automobilový průmysl. Tyto procesory mají v sobě jádro ARM R52 a obsahují 8 CAN FD modulů. Některé procesory řady **Kinetis EA** s jádrem ARM Cortex M0+ vyráběné NXP, které jsou určené pro automobilový průmysl, obsahují jeden CAN modul. NXP má dále v nabídce procesory řady **Kinetis K1x**, **K6x**, **K4x**, **K3x**, **K2x** a **K1x**, které většinou obsahují jeden nebo dva moduly pro CAN, tyto procesory běží na jádře ARM Cortex M4. Taktéž řada procesorů **LPC4000** od NXP obsahuje dva moduly CAN 2.0. Řada **LPC551x** obsahuje dva CAN FD moduly.

STMicroelectronics má v portfoliu některé procesory řady **STM32F0** a **STM32F1** s jádrem ARM Cortex M0, které obsahují CAN 2.0B kontroler. Dále řada **STM32L4** obsahuje alespoň jeden modul CAN 2.0B a nejvyšší řada mikroprocesorů vyráběna firmou STM **STM32L5** obsahuje v sobě 2 CAN FD moduly.

3.2 Ostatní procesory

Firma STM vyrábí osmibitové procesory řady **STM8AF52**, které mají periférii pro komunikaci po CAN splňující standard CAN 2.0B.

CAN kontroler obsahují i procesory **C2000** od firmy Texas Instruments, které jsou určené pro realtimové aplikace.

Od firmy NXP lze koupit osmibitové procesory řady **S08D** a šestnáctibitové procesory řady **S12HY** a **S12HZ**, které mají CAN modul podporující CAN 2.0B.

Firma MicroChips má v nabídce i pár osmibitových procesorů řady AVR a PIC, které disponují CAN 2.0B modulem. Některé šestnáctibitové procesory PIC24 nebo 32bitové procesory PIC32 obsahují taktéž CAN 2.0 kontroler.

3.3 Samostatné CAN kontrolery

Pokud CAN kontroler není součástí procesoru, je možnost použít samostatný CAN kontroler, který komunikuje s procesorem většinou po standardní sběrnici SPI.

SJA1000

Jedná se už o starší obvod, původně vyráběný firmou Philips (dnes už NXP). Tento kontroler komunikuje po osmibitové paralelní multiplexované adresové/datové sběrnici. Obvod je kompatibilní s protokolem CAN 2.0B, podporuje 11bitové identifikátory zpráv, tak i rozšířené 29bitové. Tento kontroler obsahuje 64 bajtový buffer pro příjem zpráv.

MCP2515

MCP2515 je CAN kontroler od firmy Microchip s implementovaným standardem CAN 2.0B, podporující přenosovou rychlost až 1 Mbit/s. Obvod komunikuje pomocí vysokorychlostního SPI rozhraní s rychlostí až 10 MHz. Obvod funguje pod napětím 2,7 V až 5 V.

TCAN 4550, TCAN 4551

Nové integrované obvody od firmy Texas Instruments, které v sobě mají integrovaný CAN FD transceiver. Podporuje datový přenos po CAN sběrnici až 8 Mbit/s. Pro komunikaci mezi procesorem je používána sériová sběrnice SPI, která dokáže komunikovat s hodinovým taktem až 18 MHz. Obvod TCAN4550 podporuje 3,3 V a 5 V vstupně/výstupní logiku pro mikroprocesory a obvod TCAN4551 podporuje i 1,8 V logiku.

MCP2518FD

MCP2518FD je nový obvod od firmy Microchip, který podporuje jak formát CAN 2.0B, tak i nový formát CAN FD. Tento obvod umožňuje komunikovat po CAN sběrnici s rychlostí až 8 Mbit/s. Komunikace s procesorem je prováděna pomocí SPI sběrnice s rychlostí až 20MHz.

4. POUŽITÁ PLATFORMA

Pro realizace diagnostiky CAN sběrnice byla zvolena vývojová deska Discovery od firmy STM s procesorem STM32F429ZI. Jedná se o 32bitový procesor s jádrem ARM Cortex M4. Tento procesor má 2 Mbytes Flash paměť pro ukládání programu a 256 Kbytes RAM paměť. Jádro může běžet na frekvenci až 180 MHz. Procesor obsahuje dva CAN 2.0 moduly, to umožňuje komunikovat na dvou různých CAN sběrnicích.

Součástí kitu je i debugování rozhraní ST-LINK/V2, pomocí kterého je možné procesor pomocí USB programovat/debugovat. Pomocí tohoto rozhraní je také možnost přenášet testovací data do PC pomocí USB virtuálního COM portu. Přenos se provádí pomocí UART rozhraní.

Vývojová deska obsahuje dva USB konektory, jeden slouží pro debugování rozhraní a druhý je připojený přímo k procesoru. Procesor dokáže pracovat jako USB host, tak i jako USB device.

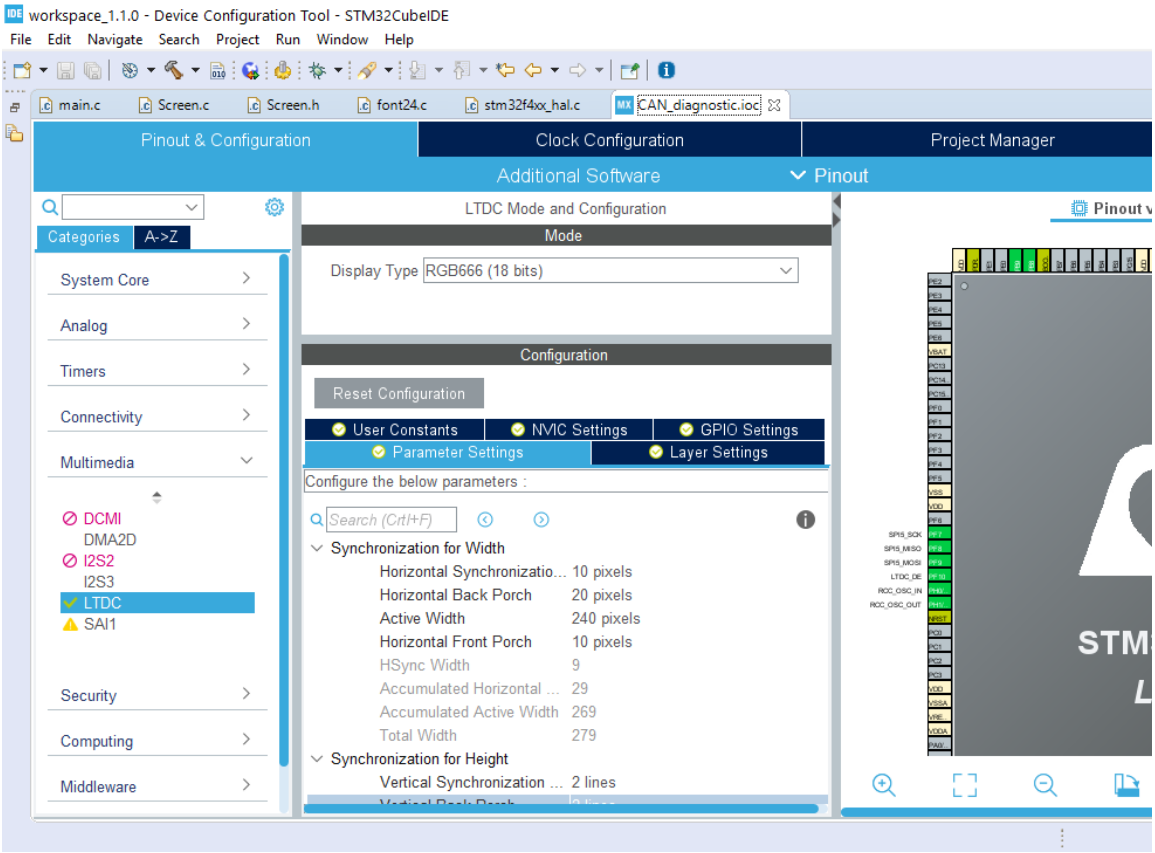
Na tomto kitu můžete nalézt 2.4" QVGA TFT LCD dotykový display, o detekci dotyků se stará obvod STMPE811, který komunikuje po sběrnici I2C. Dále kit obsahuje dvě tlačítka, jedno pro reset procesoru a druhé je uživatelsky programovatelné. Taktéž má dvě uživatelsky programovatelné LED. Vývojová deska dále obsahuje 64 M-bit SDRAM a tříosý gyroskop L3GD20. [14]

Obrázek 4.1 STM32F429 Discovery kit [14]

4.1 Vývojové prostředí MCU

Pro vývoj programu byl použit program přímo od firmy STMicroelectronics SMT32CubeIDE, který je nástavbou programu Eclipse. V programu je kromě samotného editoru kód i debugger, který umožňuje nahlížet na jednotlivé registry procesoru při krokování programu.

Součástí programu je konfigurátor pinů procesoru, jednotlivých komponentů a konfigurátor hodinového signálu procesoru, který následně vygeneruje kód. To umožňuje mnohem rychlejší vývoj aplikací. K tomuto konfigurátoru se lze kdykoliv při vývoji aplikace vrátit k inicializaci nebo překonfigurováni komponentů a znovu nechat přegenerovat kód.

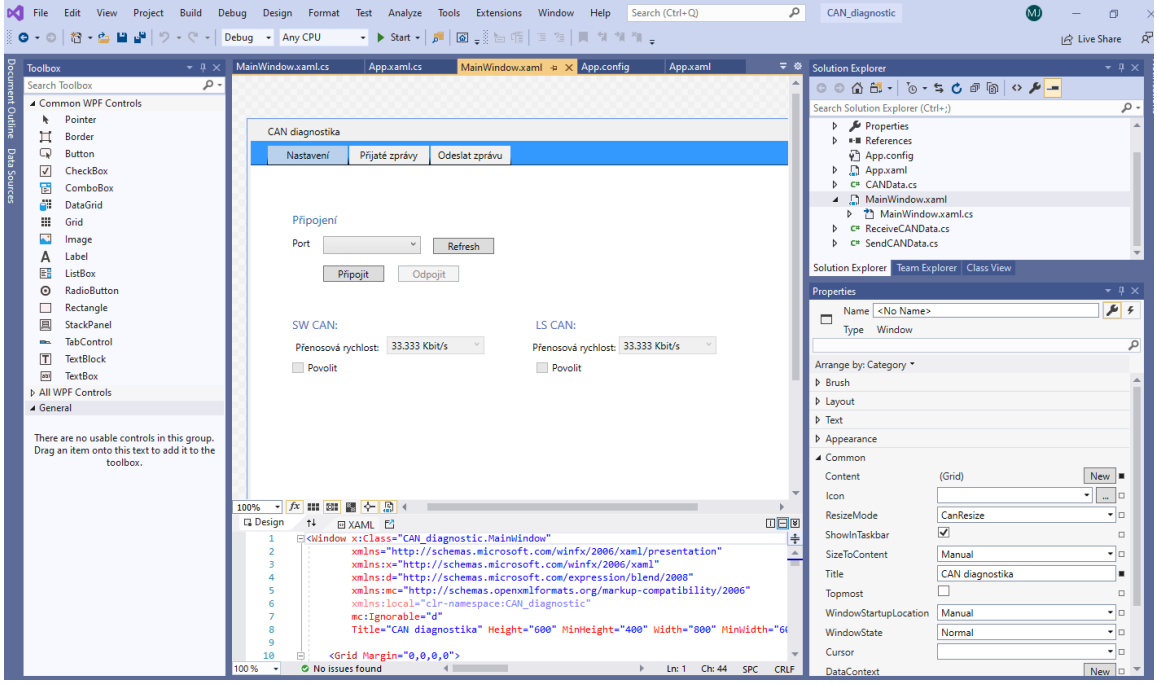


Obrázek 4.2 Vývojové prostředí STM32CubeIDE

4.2 Vývojové prostředí PC programu

Pro vytvoření programu, který zpracovává přijatá data z diagnostické jednotky do PC, bylo použito vývojové prostředí Visual Studio 2019 od firmy Microsoft. Toto vývojové prostředí je určeno pro vývoj počítačových aplikací, jako jsou desktopové aplikace, weby a webové aplikace, mobilní aplikace apod. Visual studio podporuje řadu programovacích jazyků jako např. C/C++, C#, Visual Basic, Java Script apod.

Pro vývoj aplikace, která zpracovává přijatá data do PC, byl zvolen programovací jazyk C# s frameworkem pro grafické prostředí Windows Presentation Foundation (WPF).



Obrázek 4.3 Vývojové prostředí Visual Studio

5. NÁVRH HARDWARU DIAGNOSTICKÉ JEDNOTKY

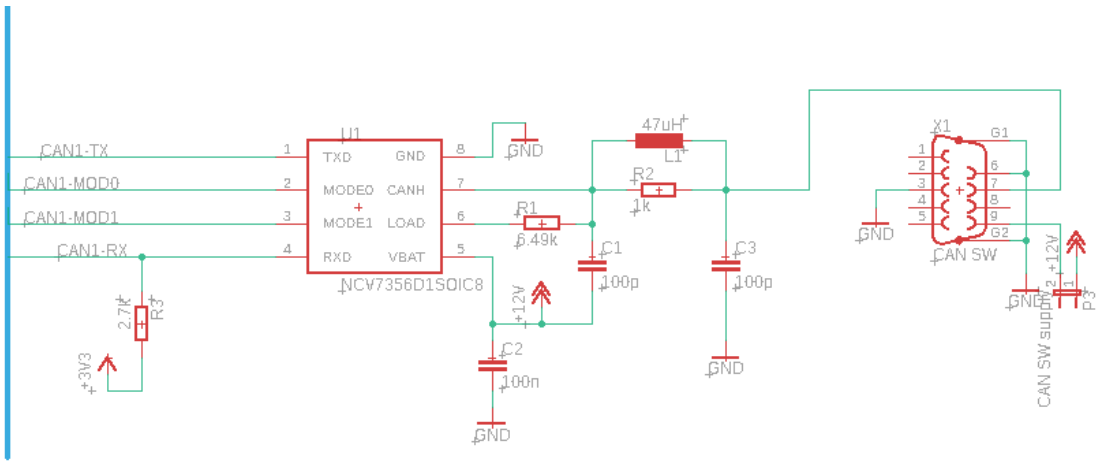
Návrh plošného spoje byl vytvořen v návrhovém programu Eagle, který je s určitým omezením zdarma. Modul je navržen tak, aby mohl komunikovat jednak se sběrnicí Single Wire CAN, ale i se sběrnicí CAN Low Speed (Fault Tolerant).

Pro realizaci fyzické vrstvy SW CAN byl použit obvod NCV7356D v osmi pinové verzi, která se vyrábí v pouzdře SOIC-8. Obvod je zapojen podle katalogového zapojení.

Pomocí pinů MODE0 a MODE1 je možno se přepínat mezi čtyřmi komunikačními módy, které jsou uvedeny v tabulce 5.1. Při High-Speed módu může transceiver komunikovat rychlostí baud ratu až 100 kbit/s. Při Normal módu by měla být použita rychlost 33 kbit/s. Při Sleep módu je transceiver v režimu nízké spotřeby, ve kterém nekomunikuje a čeká na probuzení. Mód High-Voltage Wake-Up umožňuje vybrané uzly na sběrnici probudit a uvést je do normálního komunikačního režimu, zatímco ostatní mohou zůstat ve stavu Sleep.

Tabulka 5.1 Tabulka komunikačních módů SW transceiveru

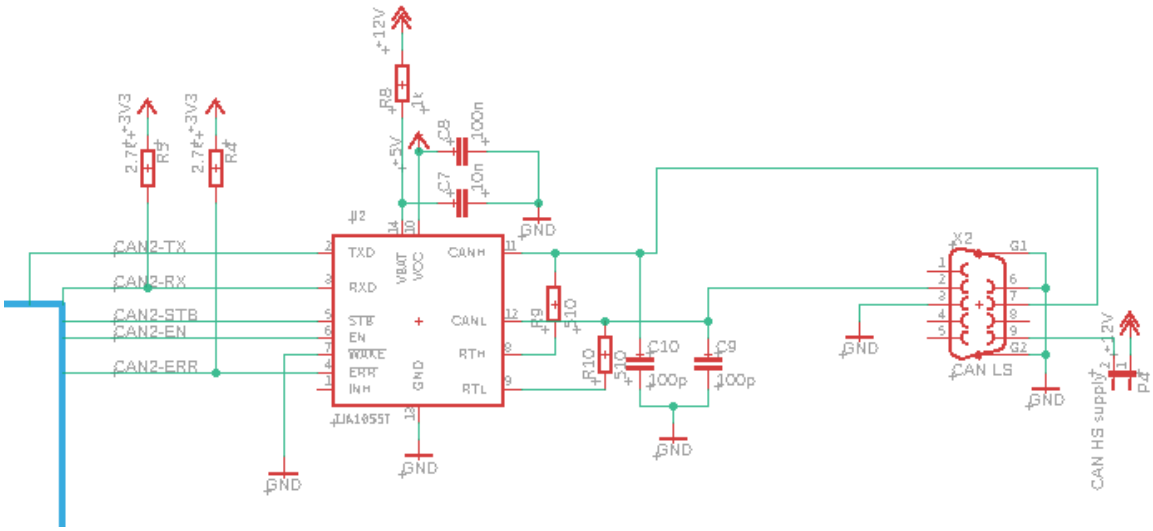
Mod	MODE1	MODE2
Sleep mode	L	L
High-Speed Mode	H	L
High-Voltage Wake-Up	L	H
Normal Mode	H	H



Obrázek 5.1 Zapojení Single Wire transceiveru

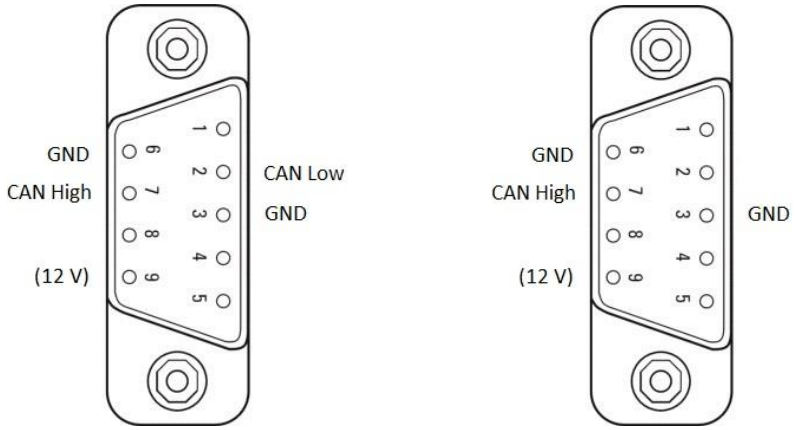
Transceiver pro sběrnici CAN LS byl použit obvod TJA 1055 od firmy NXP, který se vyrábí ve 14pinovém pouzdře SO14.

Sběrnice Low Speed CAN dokáže fungovat i při výpadku jednoho komunikačního vodiče (CANH nebo CANL). Pro detekci tohoto výpadku slouží pin /ERR, který se přepne do logické 0, pokud je jeden z vodičů přerušen, zkratován z napájení V_{cc}, baterií, nebo zkratovaný se zemí.



Obrázek 5.2 Zapojení Low Speed transceiveru

Pro připojení ke sběrnicím byly použity standardní 9pinové CANON konektory, které jsou zapojeny podle obrázku 5.3.



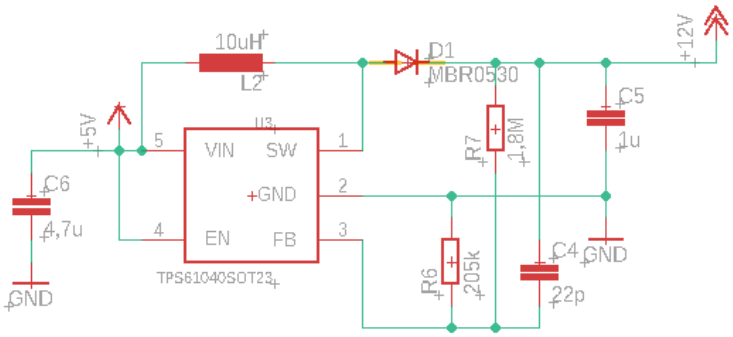
Obrázek 5.3 Fyzické zapojení konektorů pro připojení ke sběrnici SW CAN (vlevo) LS CAN (vpravo)

Pomocí jumperů na desce lze zapojit na piny 9 na konektorech napájecí napětí 12 V, které je transformované pomocí step-up měniče TPS61040 z 5 voltového USB napájení.

Obvod TPS61040 je zapojený podle obrázku 5.4. Kromě pasivních součástek zapojení obsahuje i schottkyho diodu MBR0530 s pouzdrem SOD123. Odpory R7 a R6

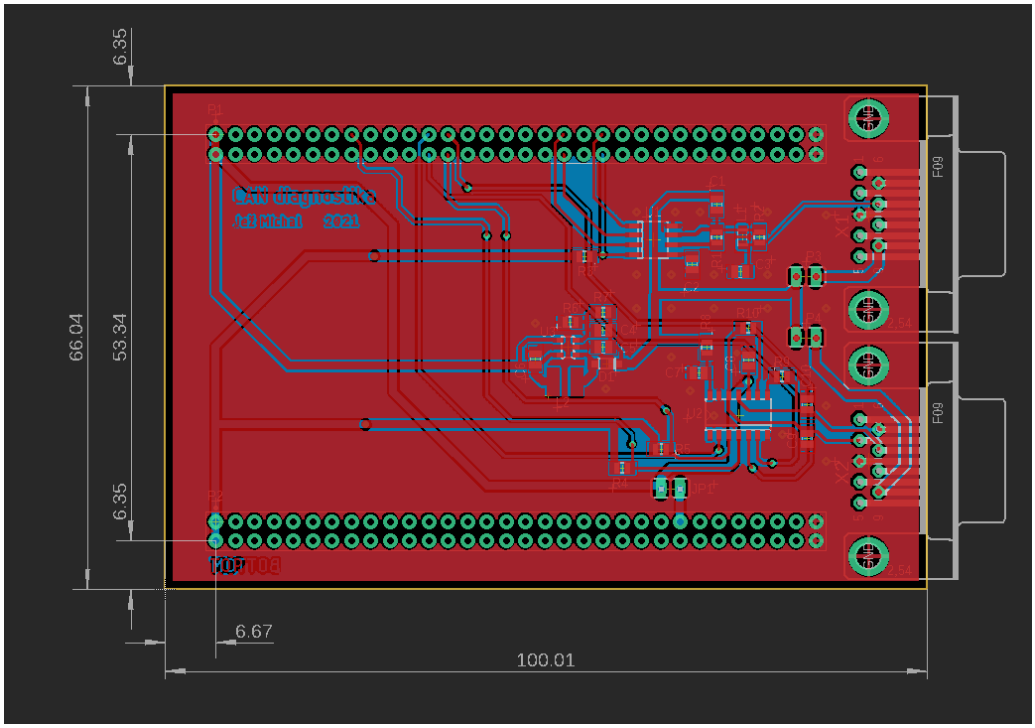
slouží k nastavení výstupního napětí. Výstupní napětí lze vypočítat pomocí vzorce 6.1, který je uveden v datasheetu obvodu.

$$V_{out} = 1{,}233 \times \left(1 + \frac{R7}{R6}\right) [V] \tag{6.1}$$

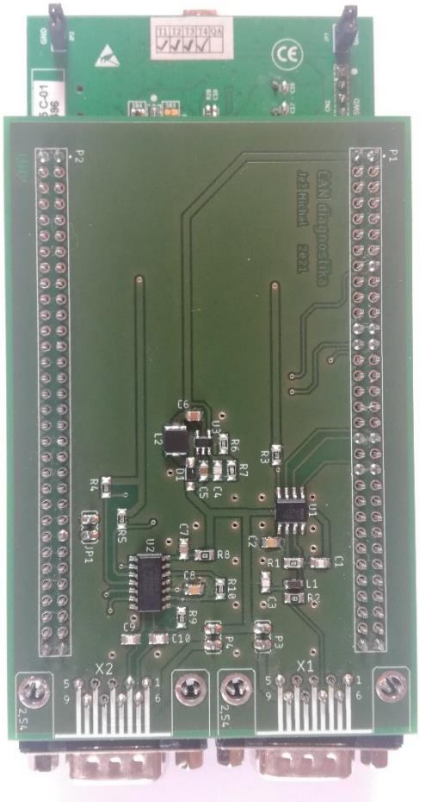


Obrázek 5.4 Zapojení Step-up měniče

Navrhnutá deska je dvouvrstvá a má rozměr 100,0 x 66,0 mm. Všechny kondenzátory a odpory jsou SMD velikosti 0805. Připojení k vývojovému kitu je přes dva 64 pinové konektory, které se přímo nasunou na kit.



Obrázek 5.5 Návrh desky diagnostického modulu v Eaglu



Obrázek 5.6 Fyzická realizace desky diagnostického modulu

Některé použité piny jsou zapojené do paměti SDRAM na kitu, diagnostický modul však tuto paměť nepoužívá. Seznam použitých pinů na kitu je v tabulce 5.2.

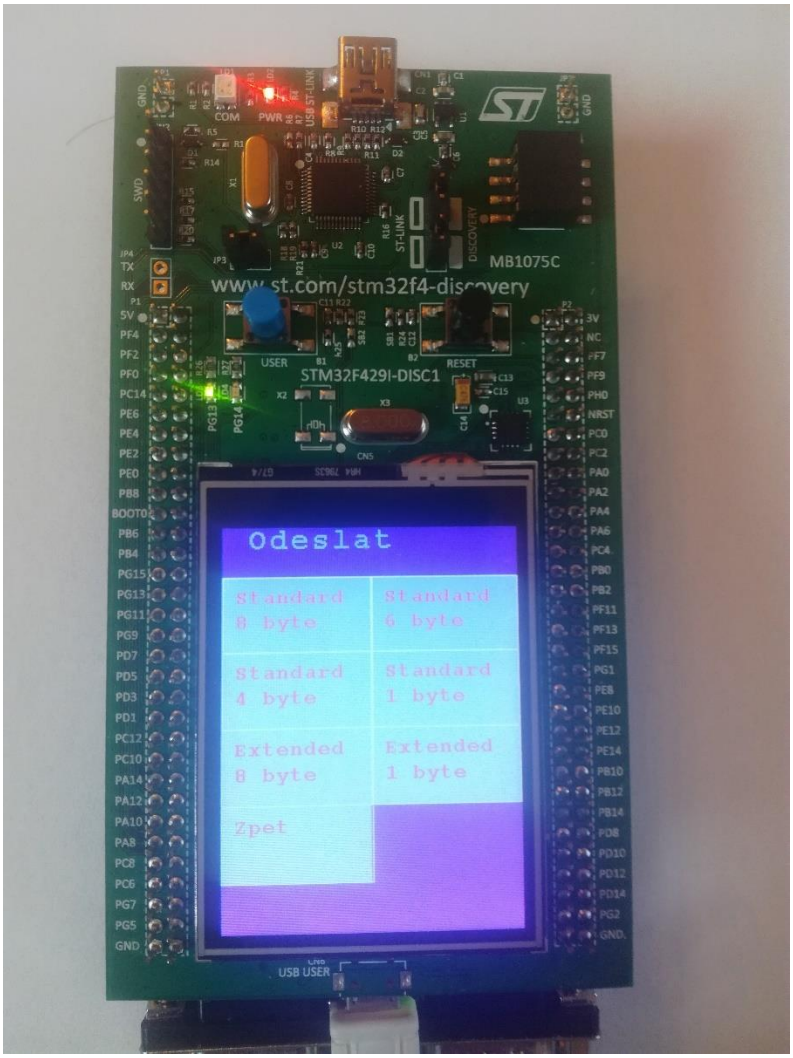
Tabulka 5.2 Rozpis použitých pinů na kitu STM32F429ZI

Funkce	**P1**	**P2**	**Port**	**Funkce na kitu**
5 V	1	-	-	Napájení
5 V	2	-	-	Napájení
3,3 V	-	1	-	Napájení
3,3 V	-	2	-	Napájení
CAN2-ERROR	15	-	PE2	-
CAN2-TX	23	-	PB6	SDRAM-SDNE1
CAN2-EN	24	-	PB7	-
CAN2-STB	25	-	PB4	-
CAN2-RX	26	-	PB5	SDRAM-SDCKE1
CAN1-MOD1	37	-	PD5	-
CAN1-MOD0	38	-	PD4	-
CAN1-TX	41	-	PD1	SDRAM-D2
CAN1-RX	42	-	PD0	SDRAM-D3
GND	63	-	-	Napájení
GND	64	-	-	Napájení
GND	-	63	-	Napájení
GND	-	64	-	Napájení

6. PROGRAM PRO MCU

Součástí kitu je i TFT displej s dotykovou obrazovkou. Na tomhle displeji, na úvodní obrazovce, je zobrazován stav obou sběrnic, jestli jsou zapnuty/vypnuty (CAN SW, CAN LS) a nastavení komunikační rychlosti obou sběrnic. Dále je zde stav pinu /Err, který je zapojen na pin CAN LS transceiveru, indikující přerušení jednoho z datových vodičů. Na obrazovce je také tlačítko Odesilani zprav, kterým je možnost se přepnout na obrazovku, ze které lze poslat na sběrnici některou z 6 předdefinovaných testovacích zpráv. Z této obrazovky se zpět dostaneme pomocí tlačítka Zpet.

Obrázek 6.1 Hlavní obrazovka diagnostického modulu



Obrázek 6.2 Hlavní obrazovka diagnostického modulu

6.1 Popis programu

Blokové schéma hlavního programu je na obrázku 6.3.

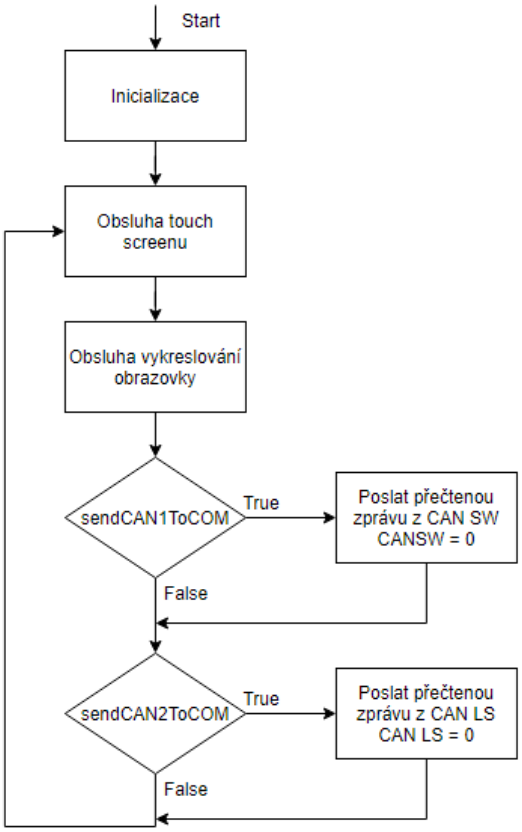
V první části programu jsou nejdříve inicializované systémové hodiny. Procesor je nastaven, aby běžel na frekvenci 168 MHz. Procesor dokáže běžet až na 180 MHz, ale kvůli USB periferii, která běží na 48 MHz musela být frekvence nastavena na 168 MHz.

Poté se inicializují jednotlivé periferie jako GPIO (Univerzální vstupně/výstupní piny), sběrnice potřebné pro ovládání TFT displeje a dotykové plochy (I2C, LTDC, SPI), DMA (periferie pro přímý přístup do paměti), CAN sběrnice a čítač, který je použit pro pravidelné načítání dat z dotykové plochy displeje (každých 50 ms).

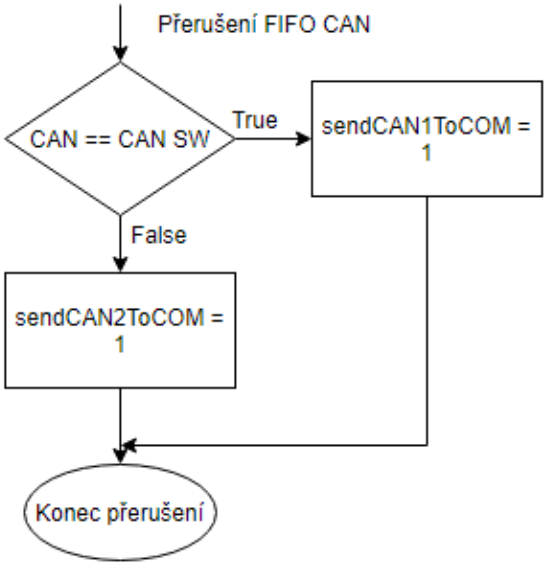
Pro ovládání periferií jsou použity knihovny HAL, které se automaticky importují do projektu pomocí konfigurátoru periferií, který je součástí IDE. Pro ovládání displeje byly použity knihovny, které jsou součástí vzorového programu přímo od firmy STM.

V hlavní smyčce programu je nejdříve kontrolováno, jestli nebyl zaznamenán dotyk na obrazovce. Dále se provede překreslování obrazovky tehdy, když jednotka přijme zprávu z USB o změně stavu některé CAN sběrnice (vypnout, zapnout, změna Baudratu, změna stavu pinu /CANERR), nebo při stisku tlačítka na obrazovce. Poté, pokud byla přijata zpráva z některé CAN sběrnice, je poslána na virtuální USB COM port. Příjem zprávy z CAN sběrnice je obsluhován přerušením, které nastane, pokud FIFO paměť pro CAN příjem obsahuje zprávu.

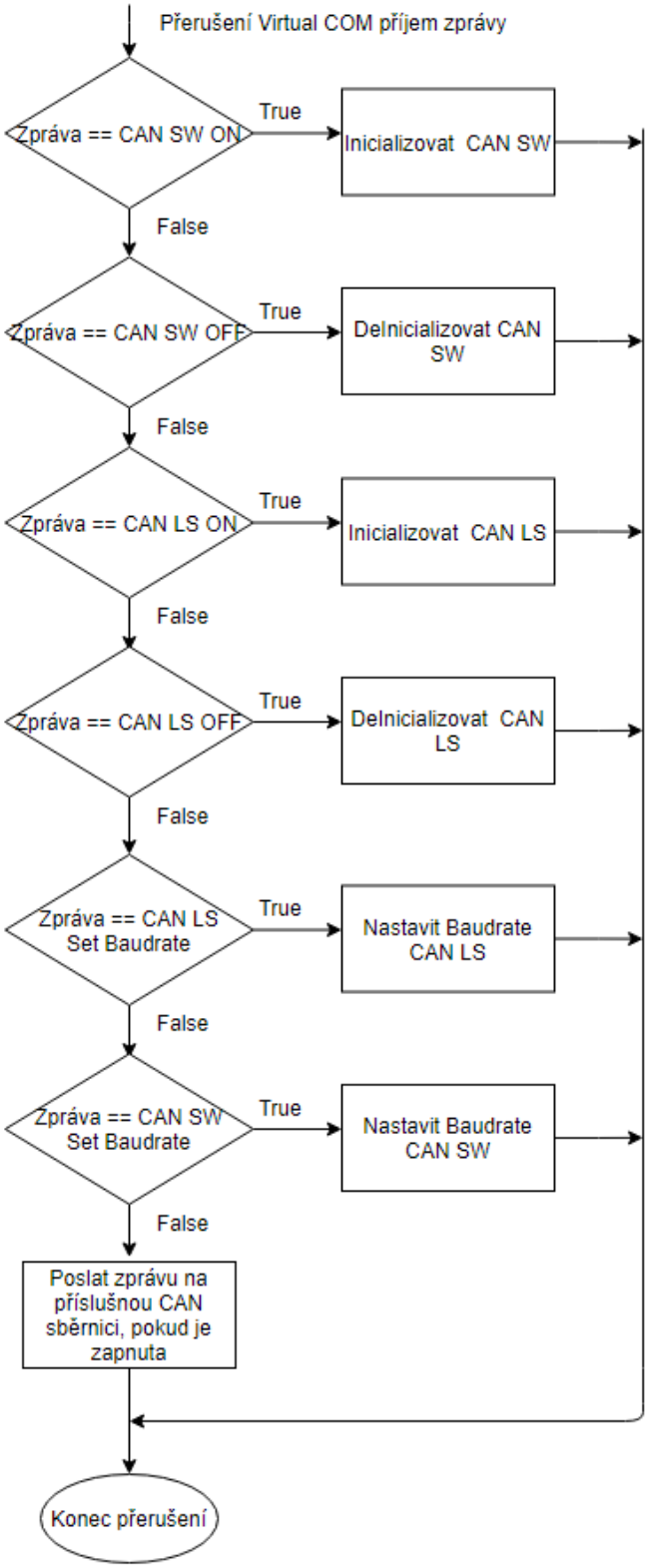
V přerušení od příjmu zprávy z virtuálního COM portu (Obrázek 6.5) se provádí inicializace a deinicializace CAN sběrnic podle přijaté zprávy. Dále se zde nastavuje baudrate při přijaté zprávě pro nastavení baudratu. Buadrate se nastavuje tak, že se zapíše do proměnné, ta pak slouží jako parametr pro inicializaci, podle které se nastavují děličky hodin pro CAN periferii. Pokud zpráva není žádného předchozího typu (zapnutí/vypnutí CAN, nastavení baudratu), tak se předpokládá, že se jedná o požadavek o zaslání zprávy na sběrnici. Zpráva je poté validována a dekódována, pokud validace proběhne správně a příslušná CAN sběrnice, na kterou má být zprava odeslána je aktivní, proběhne příkaz pro odeslání zprávy na konkrétní CAN sběrnici.



Obrázek 6.3 Blokové schéma hlavního programu



Obrázek 6.4 Blokové schéma přerušení FIFO CAN



Obrázek 6.5 Blokové schéma přerušení příjem z Virtuálního sériového portu

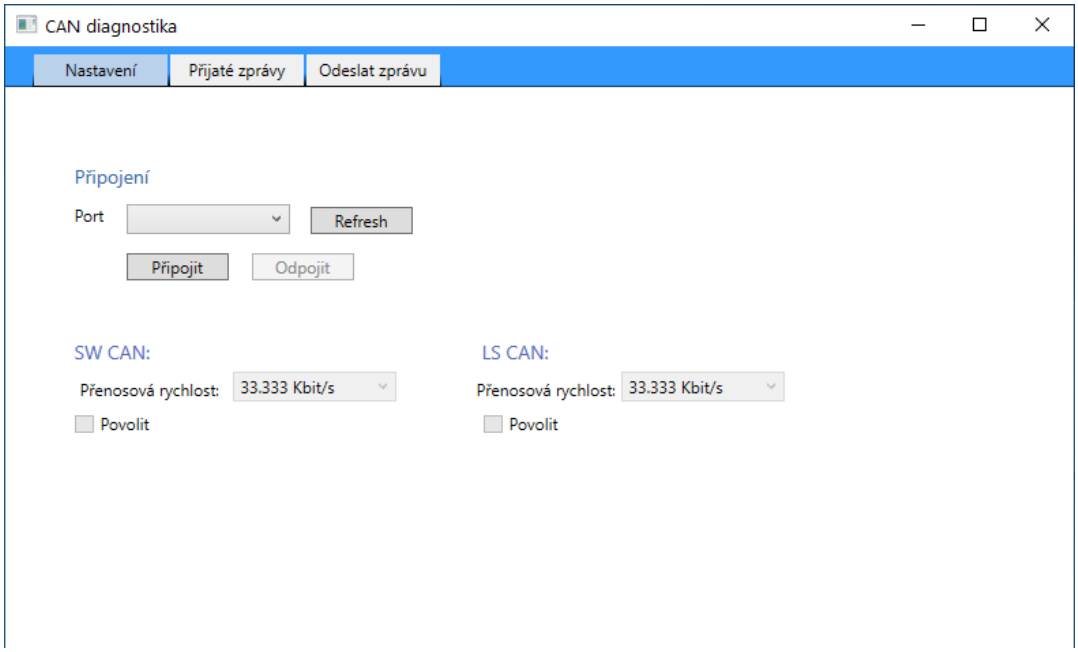
7. PC PROGRAM

Program, který zprostředkovává příjem a odesílání dat z USB do PC, byl psaný ve Visual Studiu programovacím jazykem C# s použitím grafické knihovny Windows Presentation Foundation. Komunikace mezi vývojovým kitem a počítačem probíhá pomocí USB, který je nastaven v režimu virtuálního sériového portu.

Program je rozdělený na 3 části, a to Nastavení, Přijaté zprávy a Odeslat zprávu, mezi kterými je možno se přepínat pomocí horního menu.

V první záložce nastavení (Obrázek č. 7.1), pro správný chod komunikace, je potřeba vybrat potřebný sériový port, ke kterému je připojen diagnostický modul a stisknout tlačítko Připojit. Pomocí tlačítka Refresh se znovu načte seznam připojených sériových portů k PC. Po připojení je možnost vybrat komunikační rychlost udávána zvlášť pro sběrnici SW CAN a zvlášť pro sběrnici LS CAN. U Single Wire CAN sběrnice je možnost vybrat baudrate 33,333 kbit/s, 40 kbit/s, 50 kbit/s, 60 kbit/s, 75 kbit/s a 83,333 kbit/s. Sběrnice LS CAN lze nastavit na rychlost 33,333 kbit/s, 40 kbit/s, 50 kbit/s, 60 kbit/s, 75 kbit/s a 83,333 kbit/s, 100 kbit/s a 125 kbit/s.

Dále v této záložce jsou dvě zatrhávací tlačítka Povolit, které při zatrhnutí aktivují sběrnici, po které může diagnostický modul komunikovat. Po odtržení se sběrnice deaktivuje. Přenosové rychlosti sběrnice lze měnit pouze při vypnuté sběrnici, proto je zapotřebí při změně komunikační rychlosti nejdříve požadovanou sběrnici vypnout.

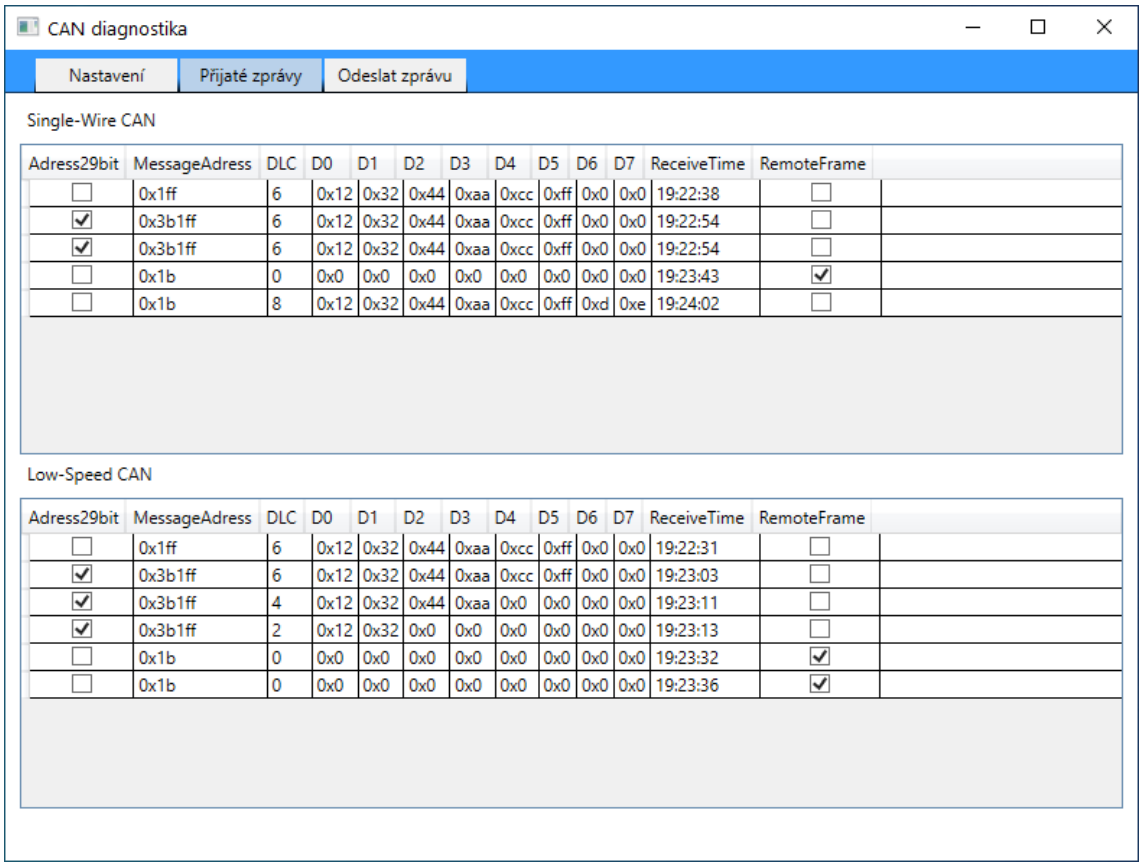


Obrázek 7.1 PC program záložka Nastavení

Druhá část programu (Obrázek 7.2) je výpis přijatých dat, který je rozdělený do dvou tabulek. Jedna tabulka vypisuje přijaté zprávy ze sběrnice SW CAN a druhá

přijaté zprávy ze sběrnice LS CAN. Tabulky se aktualizují po každém příchodu zprávy z aktuální sběrnice.

Tabulky jsou rozděleny na 13 sloupců. V prvním sloupci jsou zatržítka, která při zatržení indikují, že přijatá zpráva měla formát adresy 29 bitů, jinak adresa zprávy má formát 11 bitů. Další sloupec je adresa přijaté zprávy zapsaná v hexadecimálním formátu. Třetí sloupeček udává délku zprávy v bitech. Délka zprávy může být 0 až 8 bitů. Dalších 8 (D0 – D7) sloupců zobrazuje obsah jednotlivých bajtů zapsaný v hexadecimálním formátu. Pokud zpráva je kratší než buňka aktuálního bitu, je zapsán jako 0x0. Předposlední sloupec udává čas přijetí zprávy. Čas je udávaný ve formátu hh:mm:ss. V posledním sloupci jsou zatržítka, která indikují, jestli přijatá zpráva je ve formátu Remote Frame (Žádost o data).



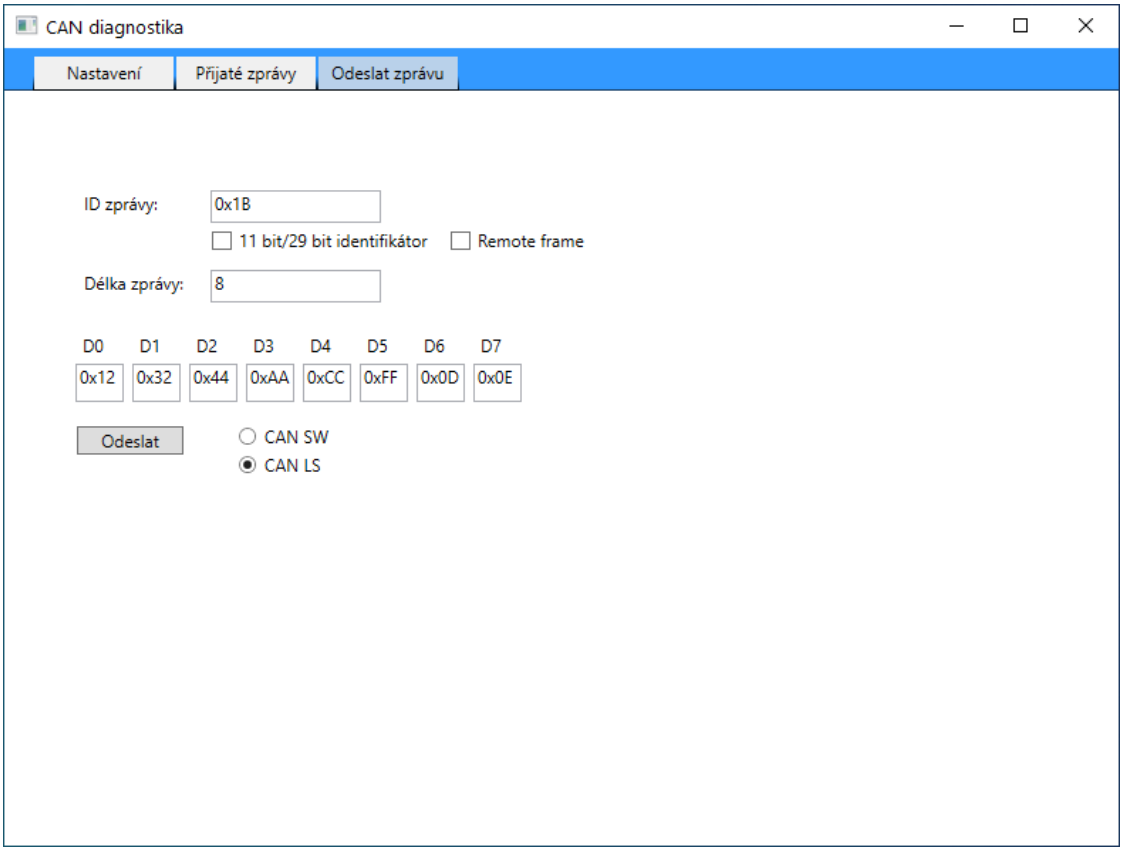
Adress29bit	MessageAdress	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	ReceiveTime	RemoteFrame
☐	0x1ff	6	0x12	0x32	0x44	0xaa	0xcc	0xff	0x0	0x0	19:22:38	☐
☑	0x3b1ff	6	0x12	0x32	0x44	0xaa	0xcc	0xff	0x0	0x0	19:22:54	☐
☑	0x3b1ff	6	0x12	0x32	0x44	0xaa	0xcc	0xff	0x0	0x0	19:22:54	☐
☐	0x1b	0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	19:23:43	☑
☐	0x1b	8	0x12	0x32	0x44	0xaa	0xcc	0xff	0xd	0xe	19:24:02	☐

Adress29bit	MessageAdress	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	ReceiveTime	RemoteFrame
☐	0x1ff	6	0x12	0x32	0x44	0xaa	0xcc	0xff	0x0	0x0	19:22:31	☐
☑	0x3b1ff	6	0x12	0x32	0x44	0xaa	0xcc	0xff	0x0	0x0	19:23:03	☐
☑	0x3b1ff	4	0x12	0x32	0x44	0xaa	0x0	0x0	0x0	0x0	19:23:11	☐
☑	0x3b1ff	2	0x12	0x32	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	19:23:13	☐
☐	0x1b	0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	19:23:32	☑
☐	0x1b	0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	19:23:36	☑

Obrázek 7.2 PC program záložka Přijaté zprávy

Poslední část programu (Obrázek 7.3) slouží pro odeslání konkrétní zprávy na sběrnici. Pro odeslání zprávy je nutné v první kolonce zapsat adresu zprávy v hexadecimálním formátu. Dále je možné vybrat pomocí zatržítka, jestli zpráva bude mít 11bitovou nebo 29bitovou délku adresy. Vedle tohoto zatržítka je i zatržítko, kterým lze nastavit, aby odesílaná zpráva byla jako žádost o zprávu. Dále je nutné zadat délku zprávy v rozsahu 0 až 8. Pod touto kolonkou se nachází kolonky pro zadání jednotlivých bajtů, které se zapisují v hexadecimálním formátu. Všechna vstupní data

jsou kontrolována, jestli jsou zadána ve správném formátu a rozsahu. Pokud tomu tak není, program pod tlačítkem Odeslat vypíše chybovou hlášku, která kolonka byla špatně zadaná. Vedle tlačítka Odeslat je možno před odesláním vybrat, na jakou sběrnici má být zpráva odeslána (CAN SW nebo CAN LS).



Obrázek 7.3 PC program záložka Odeslat zprávu

7.1 Formát přenosu dat po USB

Komunikace mezi PC a komunikační jednotkou probíhá pomocí jednoduchých zpráv přes virtuální USB sériový port. Pro práci s portem byla použita třída System.IO.Ports, která je součástí .NET frameworku.

Posílání zpráv na sběrnici/ příjem zpráv ze sběrnice

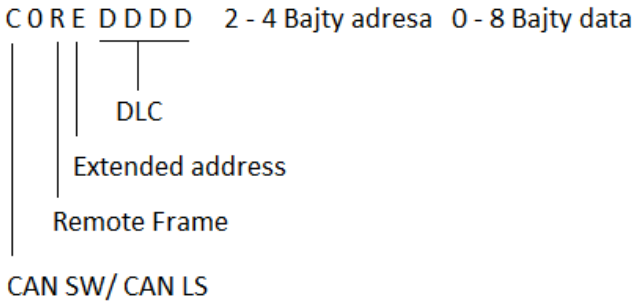
Formát, v jakém se přenáší požadavek pro odeslání zprávy na sběrnici, je ilustrován na Obrázku 7.4. Příjem zpráv ze sběrnice je posílán ve stejném formátu, jenom komunikace probíhá opačně z diagnostické jednotky do PC.

První bit s největší hodnotou prvního bajtu udává, na jakou sběrnici má být zpráva odeslána. Pokud má hodnotu 1, zpráva se pošle na sběrnici LS CAN, jinak se pošle na SW CAN. Druhý bit musí být v logické 0. Třetí bit, pokud je v logické jedničce, bude odesílaná zpráva ve formátu Remote Frame (Žádost o data). Čtvrtý bit udává, v jakém

formátu je adresa odesílané zprávy, pokud má bit hodnotu 1, je adresa zprávy 29bitová, jinak je adresa 11bitová. Poslední 4 bity s nejnižší hodnotou udávají délku odesílané zprávy, která by měla být v rozsahu 0 až 8 (binárně 0000 až 1000).

Pokud je adresa zprávy 11bitová, adresa zprávy je posílána ve dvou bajtech, při 29bitovém formátu je adresa posílána ve 4 bajtech.

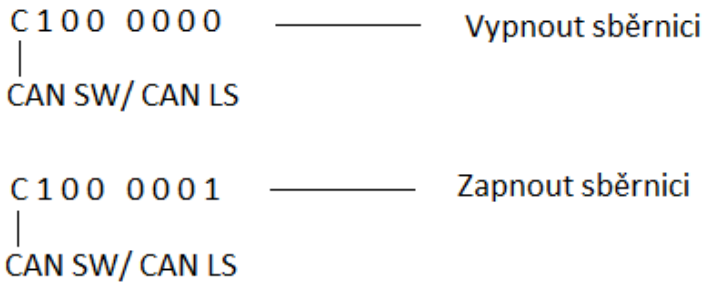
Poslední bajty jsou data, která chceme posílat na sběrnici. Počet bajtů by měl odpovídat délce odesílané zprávy.



Obrázek 7.4 Formát komunikace pro odeslání zprávy na sběrnici

Vypnout/zapnout sběrnici

Při posílání požadavku o zapnutí nebo vypnutí sběrnice, se posílá po Sériovém portu pouze jeden bajt. První bit s největší hodnotou udává, jestli se má aktivovat/deaktivovat sběrnice CAN LS, jestli je bit v logické jedničce, nebo CAN SW. Druhý bit musí mít hodnotu 1. Poslední bit s nejnižší hodnotou udává, jestli se sběrnice má zapnout (pokud je bit v logické 1) nebo vypnout. Ostatní bity jsou v logické 0.



Obrázek 7.5 Formát komunikace pro zapnutí/vypnutí sběrnice

Nastavení rychlosti přenosu

Baudrate se nastavuje pomocí 5 bajtů. V prvním bajtu první bit s největší hodnotou udává, na jakou sběrnici se má provést změna baudratu. Pokud je v logické 1, změna se projeví na CAN LS, jinak na CAN SW. Druhý a předposlední bit musí být v logické jedničce. Další 4 bajty určují na jakou rychlost se má sběrnice nastavit.

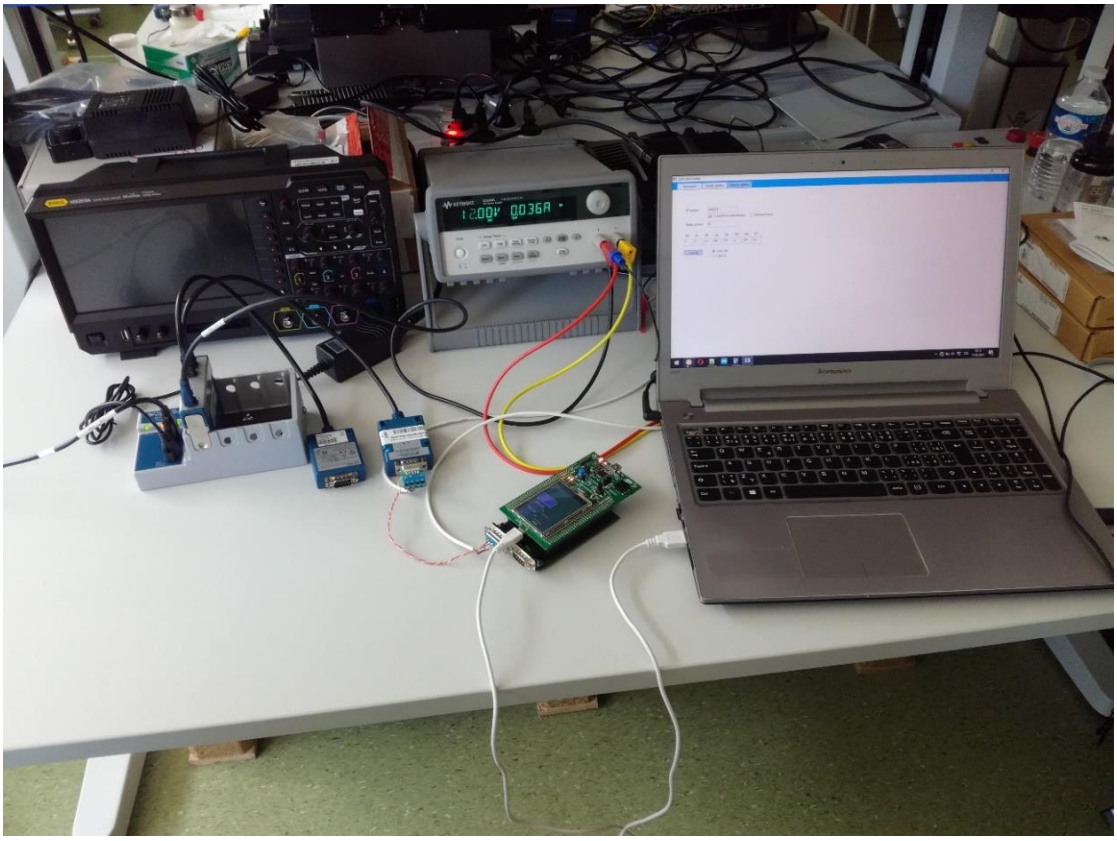
```
C 1 0 0  0 0 1 0      4 Bajty baudrate
|
CAN SW/ CAN LS
```

Obrázek 7.6 Formát komunikace pro nastavení rychlosti přenosu

8. TEST KOMUNIKACE PO SBĚRNICÍCH

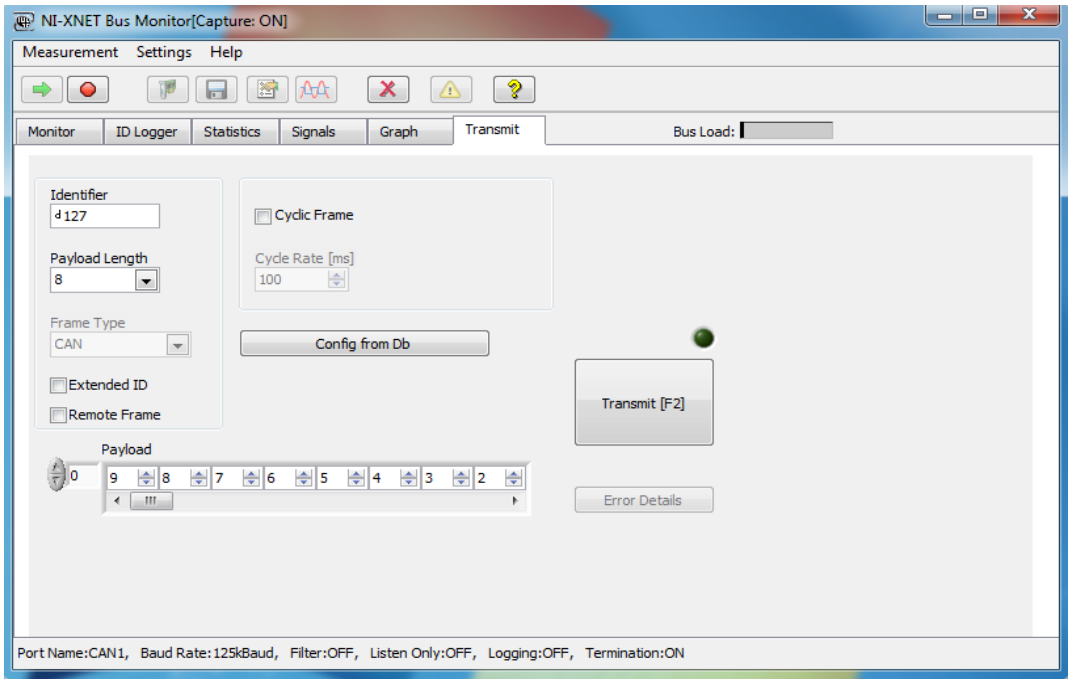
Prvotní testování komunikace diagnostického modulu proběhlo pouze mezi vlastními sběrnicemi Single Wire CAN a Low Speed CAN, které obsahuje diagnostická jednotka. Komunikace proběhla bez problémů, vysílaná zpráva na sběrnici CAN LS byla přijata a poslána na sběrnici CAN SW a přeposlána pomocí USB do PC, kde byla pomocí PC programu vizualizována. To samé proběhlo při komunikaci v opačném směru ze sběrnice CAN SW do CAN LS.

Další testování proběhlo pomocí zařízení od firmy National Instruments. Pro testování byla použita multiprotokolová jednotka NI 9860 pro automobilové sběrnice, která dokáže komunikovat se sběrnicemi CAN a LIN. Do této jednotky bylo připojeno rozhraní CAN sběrnice TRC-8543. Toto rozhraní je určeno pro sběrnice, jak pro High-Speed CAN, tak i pro sběrnici Low-Speed CAN. Rozhraní využívá jako transceiver pro LS CAN obvod TJA1055T od firmy NXP. Jednotka NI 9860 byla připojena k PC pomocí čtyřslotového DAQ USB modulu cDAQ-9174. Pro napájení modulu cDAQ-9174 a rozhraní TRC-8543 byl použit laboratorní zdroj Keysight E3640A nastavený na napájecí napětí 12 V. Obsluha NI CAN zařízení proběhla za pomocí programu NI-XNET Bus Monitor.

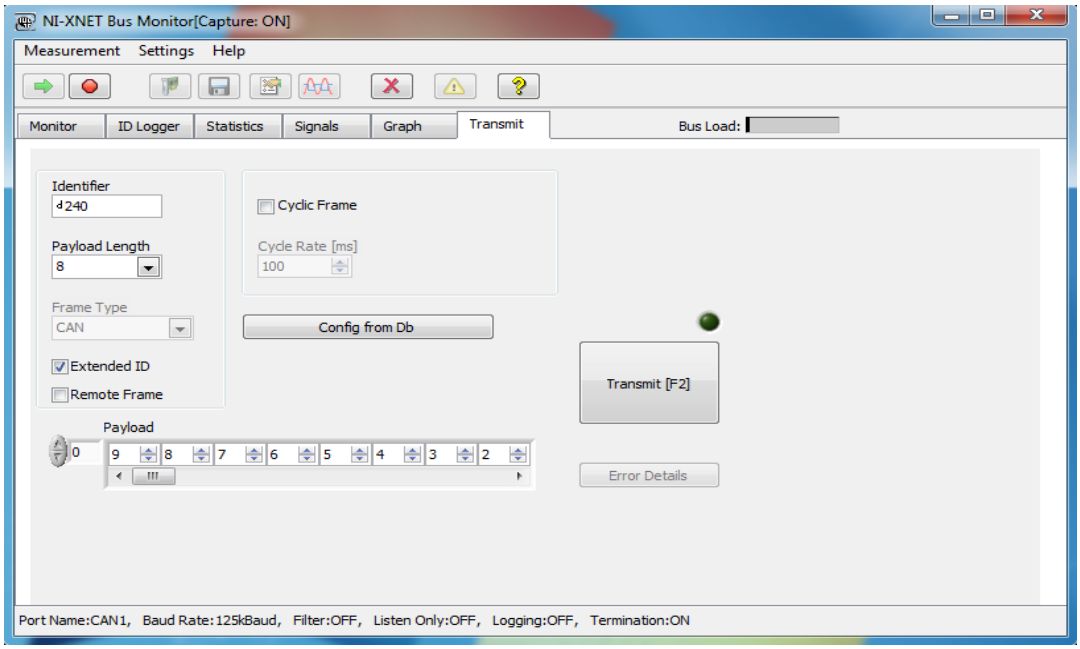


Obrázek 8.1 Test komunikace pomocí zařízení od National Instuments

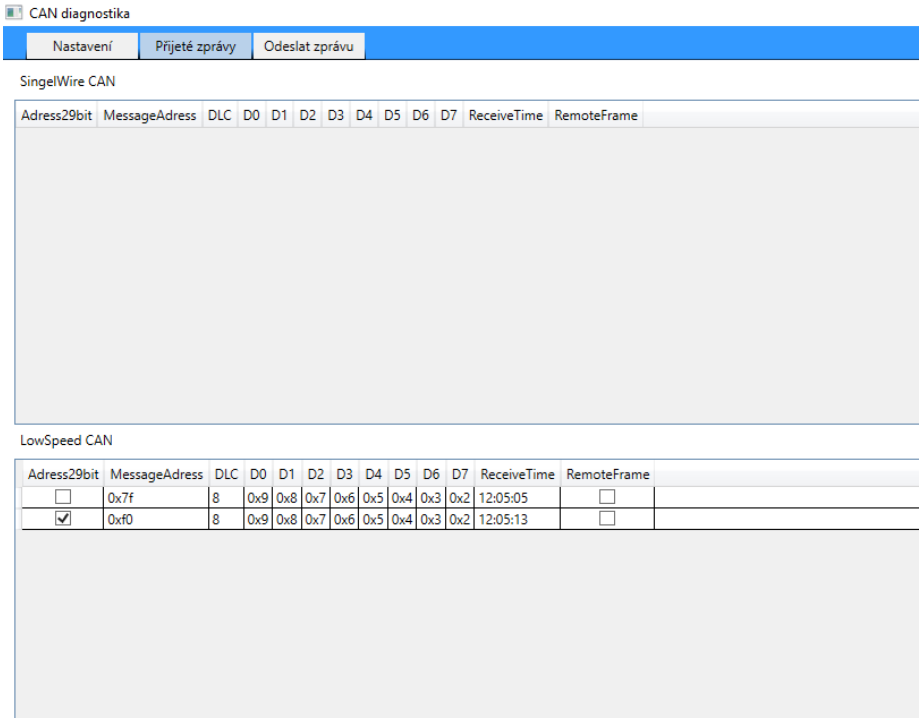
Nejdříve byla otestována komunikace po LS CAN sběrnici s komunikační rychlostí 125 kbit/s. Nejprve byla poslána zpráva s 11bitovou adresou (Obrázek 8.2) pomocí programu NI-XNET Bus Monitor a zpráva s 29bitovou adresou (Obrázek 8.3). Obě tyto zprávy byly přijaty diagnostickou jednotkou a vizualizovány v PC programu (Obrázek 8.4).



Obrázek 8.2 Testovací zpráva s 11bitovou adresou z NI CAN na LS CAN

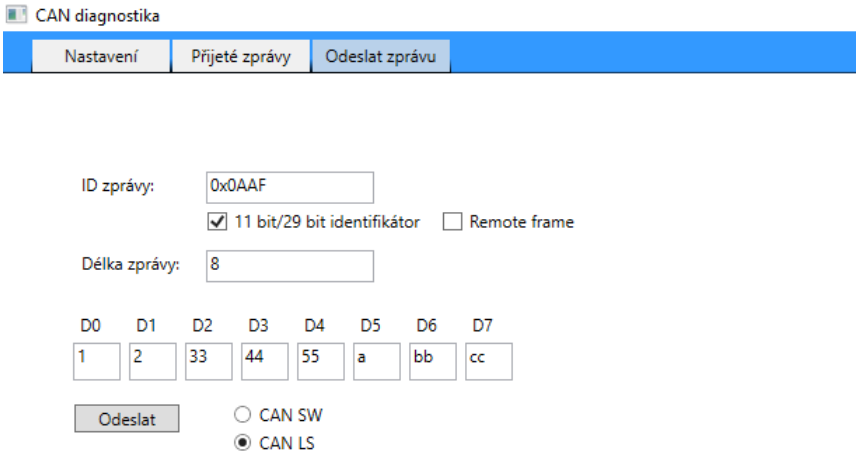


Obrázek 8.3 Testovací zpráva s 29bitovou adresou z NI CAN na LS CAN

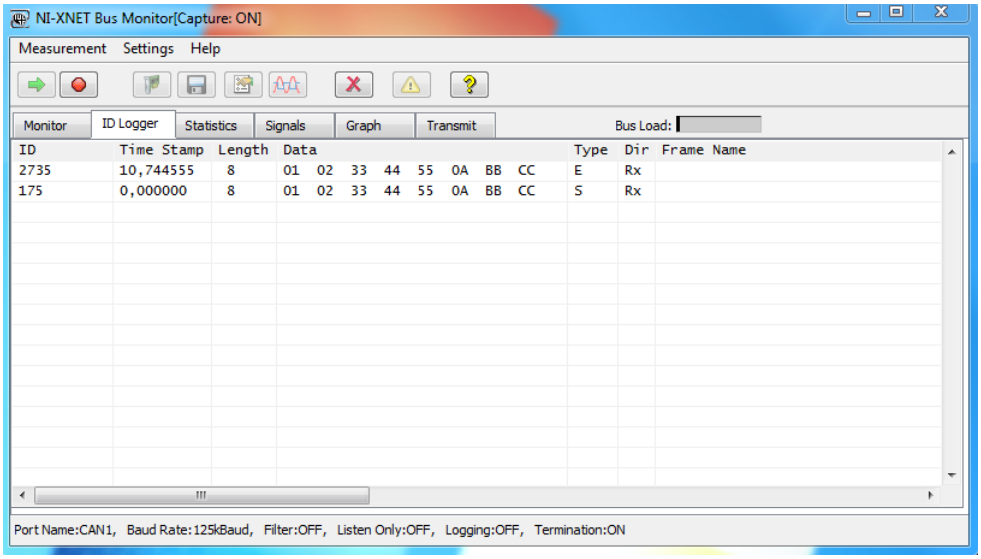


Obrázek 8.4 Příjem zpráv pomocí diagnostické jednotky z LS CAN

Komunikace proběhla i v opačném směru, posílána z CAN diagnostiky do NI CAN, kde byla zpráva zpracována a zobrazena v programu NI-XNET Bus Monitor jak zpráva s 11bitovou adresou, tak i 29bitovou adresou (Obrázek 8.6).

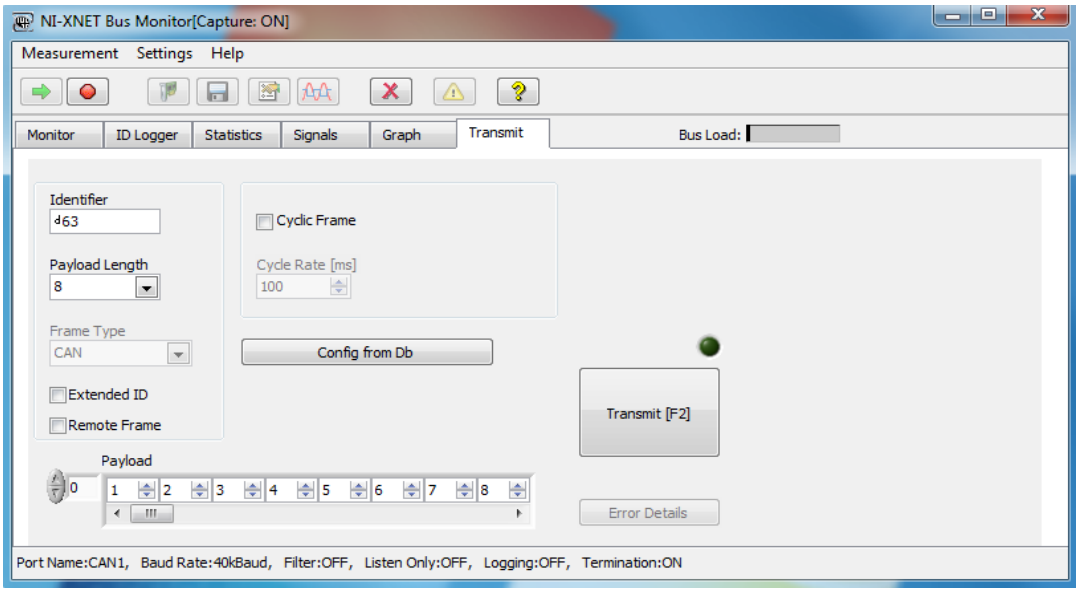


Obrázek 8.5 Posílání testovací zprávy s 29bitovou adresou z diagnostické jednotky na LS CAN sběrnice

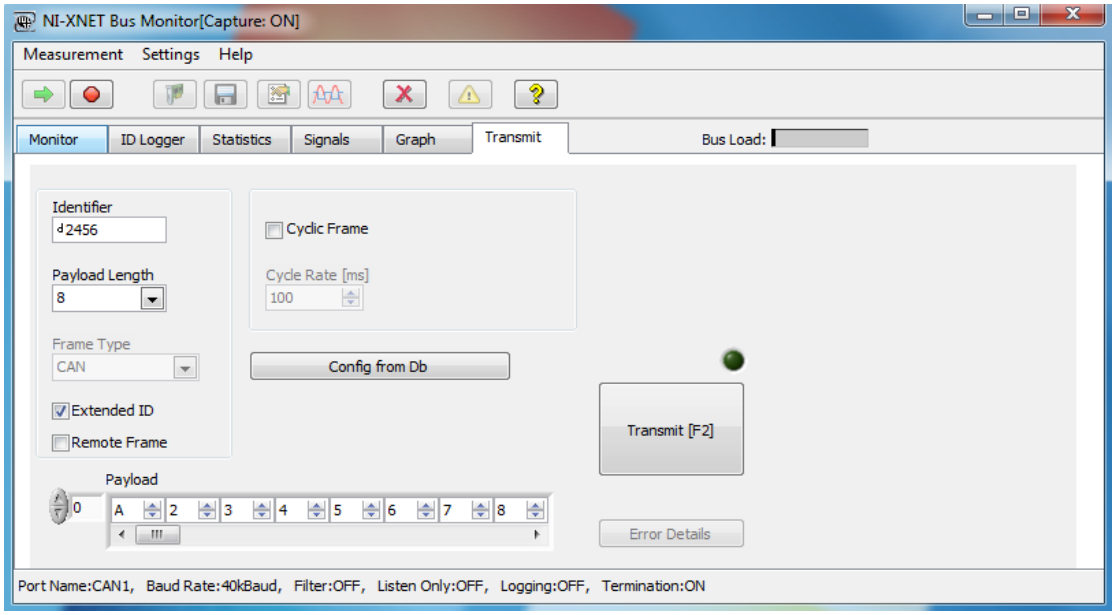


Obrázek 8.6 Přijaté zprávy z LS CAN sběrnice posílané diagnostickou jednotkou

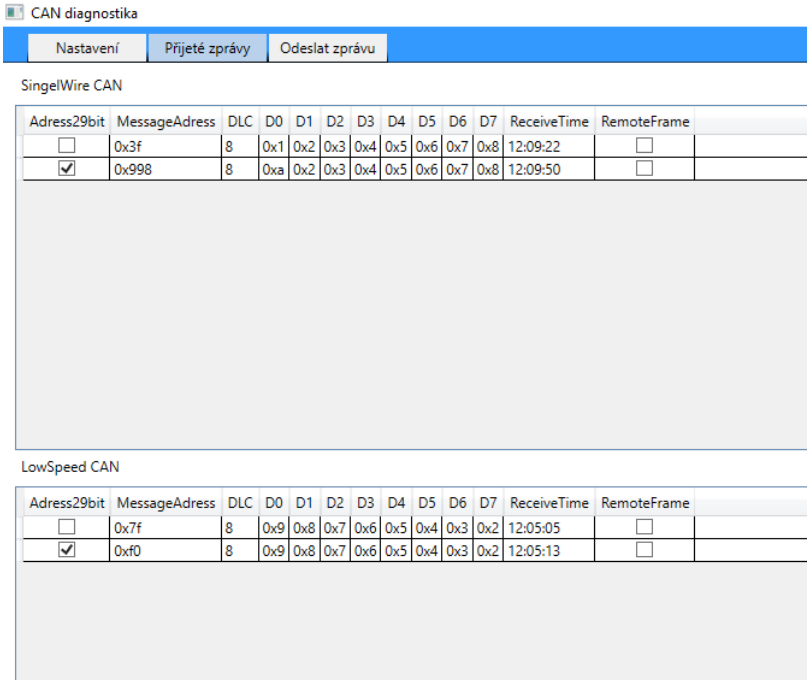
Po úspěšné obousměrné komunikaci sběrnice LS CAN diagnostické jednotky s NI CAN modulem, byla testovaná komunikace SW CAN sběrnice s NI CAN modulem nastavena jako sběrnice LS CAN. Komunikační rychlost byla nastavena na 40 kbit/s. Zpráva z NI CAN modulu byla poslána s 11bitovou adresou (Obrázek 8.7) i s 29bitovou adresou (Obrázek 8.8). Poslané zprávy na sběrnici byly úspěšně přijaty diagnostickým modulem (Obrázek 8.9).



Obrázek 8.7 Testovací zpráva s 11bitovou adresou z NI CAN LS na SW CAN

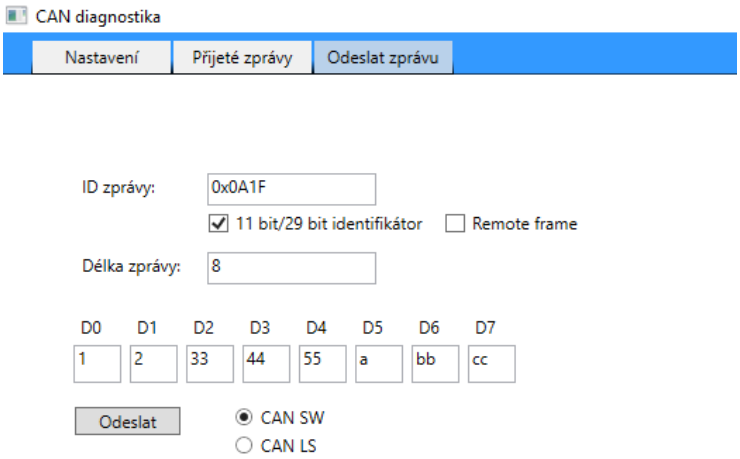


Obrázek 8.8 Testovací zpráva s 29bitovou adresou z NI CAN LS na SW CAN

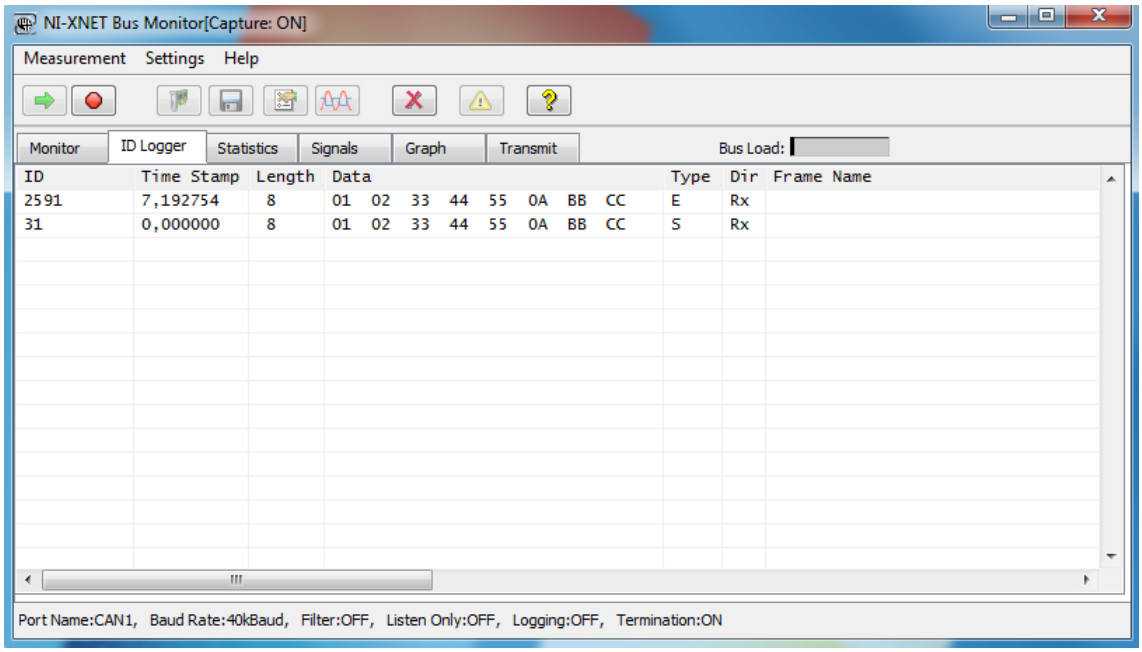


Obrázek 8.9 Příjem zpráv pomocí diagnostické jednotky z SW CAN

Dále bylo zkoušeno i posílání zpráv z diagnostické jednotky sběrnice SW CAN do zařízení NI CAN, které bylo nastaveno jako sběrnice LS CAN. Poslané zprávy byly přijaty a zobrazeny v programu NI-XNET Bus Monitor (Obrázek 8.11).



Obrázek 8.10 Posílání testovací zprávy s 29bitovou adresou z diagnostické jednotky na SW CAN sběrnici



Obrázek 8.11 Přijaté zprávy z LS CAN sběrnice posílané diagnostickou jednotkou jako SW CAN sběrnice

9. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byla navrhnuta a zhotovena deska diagnostického modulu CAN, která obsahuje dvě CAN rozhraní, a to rozhraní pro CAN Low Speed a CAN Single Wire CAN. Deska byla navrhnuta tak, aby se dala jednoduše připojit k vývojovému kitu STM32F4 Discovery, který obsahuje procesor s jádrem ARM Cortex M4. Pro tento kit byl naprogramován firmware, který dokáže přijímat a vysílat zprávy z obou sběrnic zároveň.

Pro ovládání tohoto diagnostického modulu byl naprogramován PC program v programovacím jazyce C#, který oboustranně komunikuje pomocí USB virtuálního sériového portu.

Při testování byla nejdříve vyzkoušena komunikace mezi vlastními sběrnicemi diagnostické jednotky Single Wire CAN a Low Speed CAN. Dále byla testována komunikace se zařízeními od firmy National Instruments spolu s programem NI XNET Bus Monitor. V obou případech byla komunikace úspěšná, zpráva odeslána z fyzického rozhraní Single Wire CAN byla bez problému přijata rozhraním Low Speed CAN a naopak.

Testovaná komunikace byla vždy prováděna mezi dvěma zařízeními po krátkém vedení, proto na sběrnici nebyly projeveny parazitní jevy vedení. U reálného vedení zatíženého více uzly není jisté, jak by kombinace Low Speed CAN vysílačů spolu se Single Wire CAN fungovala. To nebylo v rámci této práce testováno. Proto nelze ani bez dalších testů určit, s jakým počtem zařízení a s jak dlouhým vedením by tato sběrnice mohla fungovat.

LITERATURA

[1] Basic concepts. CAN Specification 2.0 [online]. Robert Bosch, 1991, s. 5-6 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: http://esd.cs.ucr.edu/webres/can20.pdf

[2] VOSS, Wilfried. CAN Bus Guide – Higher Layer Protocols. Copperhill technologies [online]. Leden 25, 2017 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: http://www.copperhilltechnologies.com/can-bus-guide-higher-layer-protocols/

[3] CAN Physical Layer and Termination Guide. Nation Instruments [online]. březen 5, 2019 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/09/can-physical-layer-and-termination-guide.html#section-1585766741

[4] CAN high-speed transmission. CiA [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/high-speed-transmission/

[5] Understanding and using the controller area network communication protocol: theory and practice. New York: Springer, 2012, s. 11-13. ISBN 978-1-4614-0313-5.

[6] CAN (Controller Area Network) protocol. Javatpoint [online]. Noida, India: Sonoo Jaiswal, c2011-2018 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.javatpoint.com/can-protocol

[7] CAN FD je nová verze protokolu CAN. Co nabídne a kam směřuje. https://vyvoj.hw.cz [online]. 5. srpen 2015 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://vyvoj.hw.cz/autoprumysl/can-fd-je-nova-verze-protokolu-can-co-nabidne-a-kam-smeruje.html

[8] CAN Bus Error Handling. Kvaser [online]. [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: https://www.kvaser.com/about-can/the-can-protocol/can-error-handling/

[9] Understanding and using the controller area network communication protocol: theory and practice. New York: Springer, 2012, s. 14-17. ISBN 978-1-4614-0313-5.

[10] CAN Typical Design Challenges. NXP [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.nxp.com/files-static/abstract/overview_applications/CANDESIGNCHLG.html

[11] SAE J2411- Single Wire CAN Network for Vehicle Applications. SAE, 2000, s. 5-6.

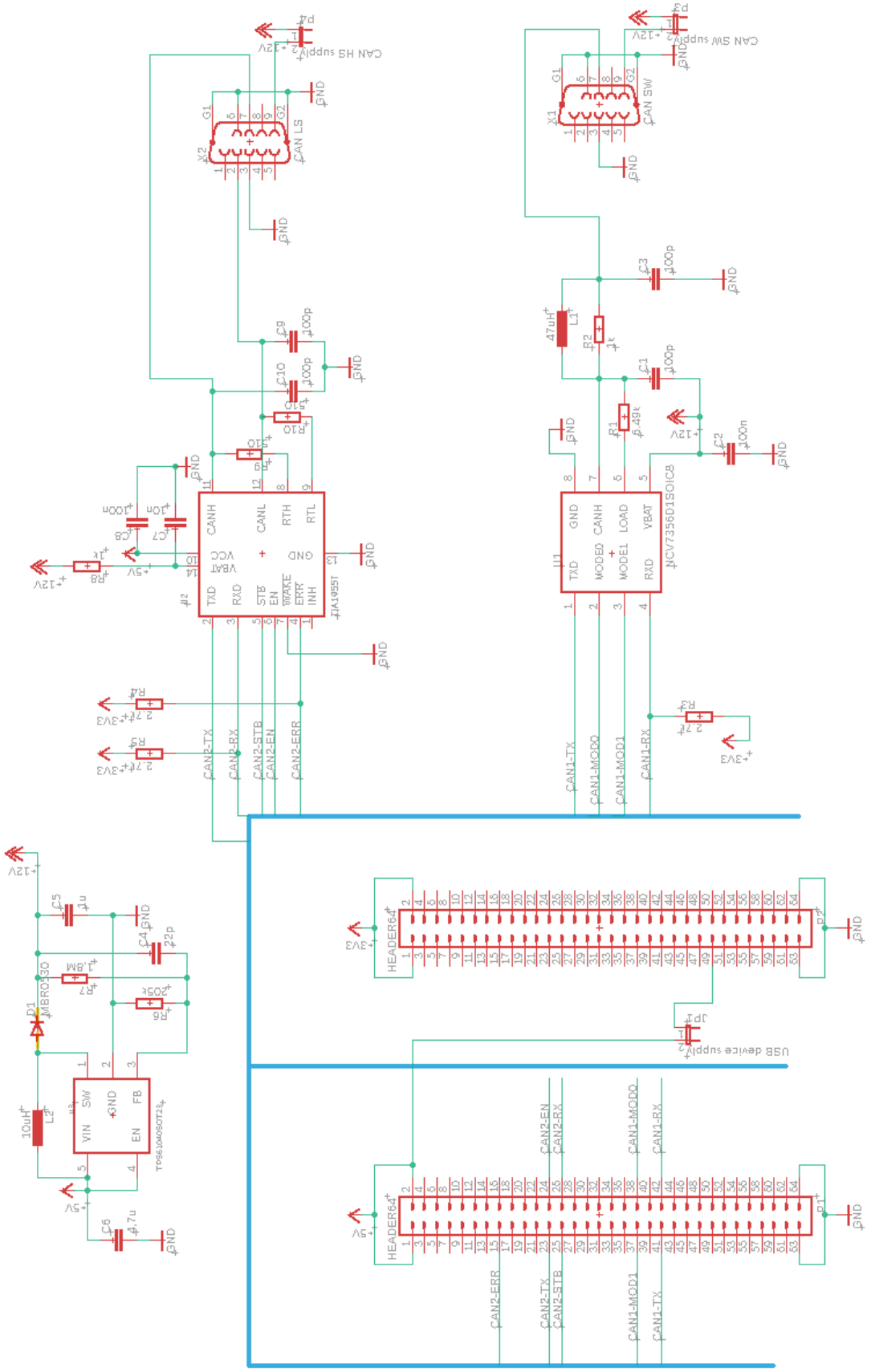
[12] SAE J2411- Single Wire CAN Network for Vehicle Applications. SAE, 2000, s. 12-16.

[13] SAE J2411- Single Wire CAN Network for Vehicle Applications. SAE, 2000, s. 19.

[14] Discovery kit with STM32F429ZI MCU. ST [online]. STMicroelectronics, 2021 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.st.com/en/evaluation-tools/32f429idiscovery.html

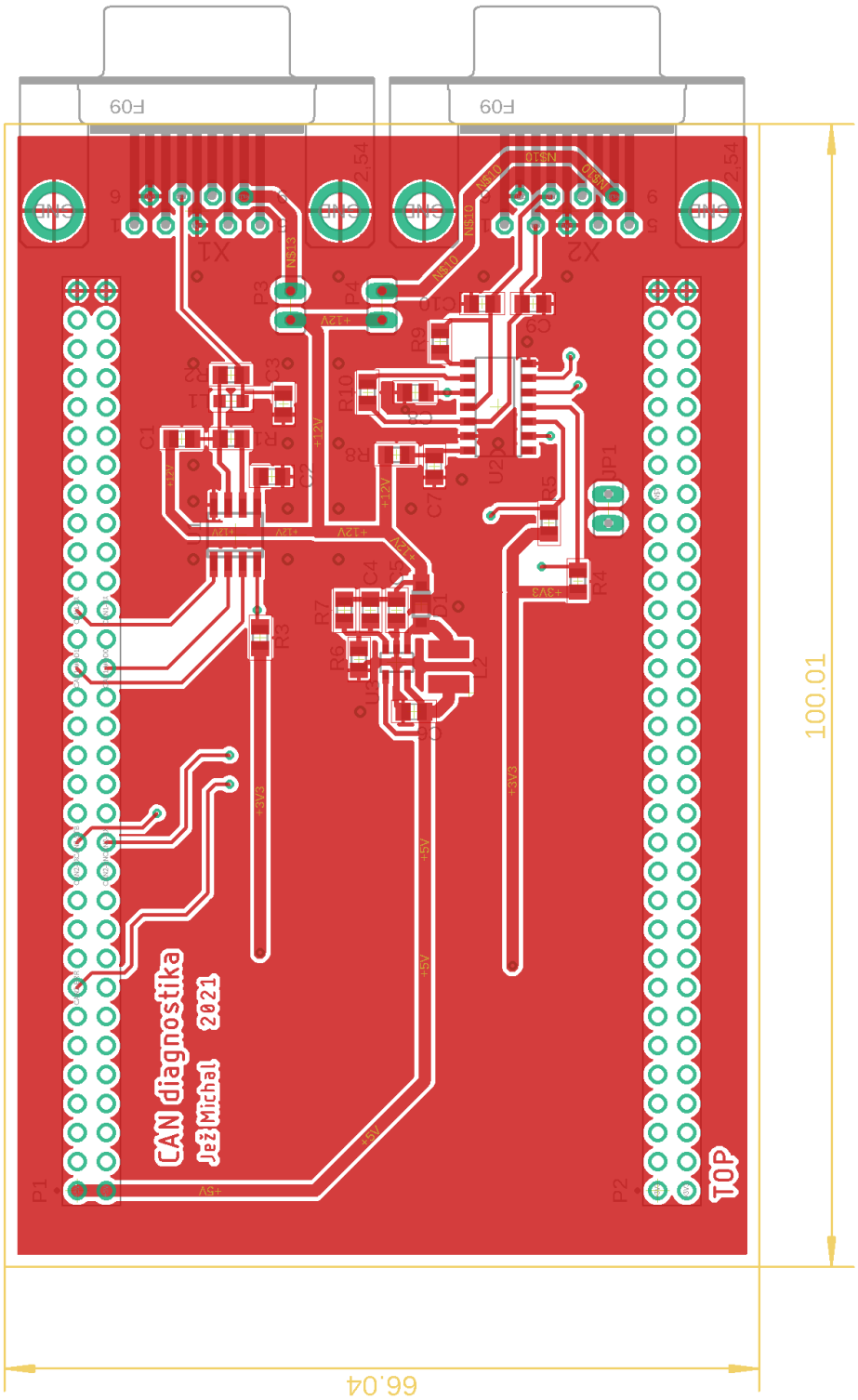
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - Kompletní schéma

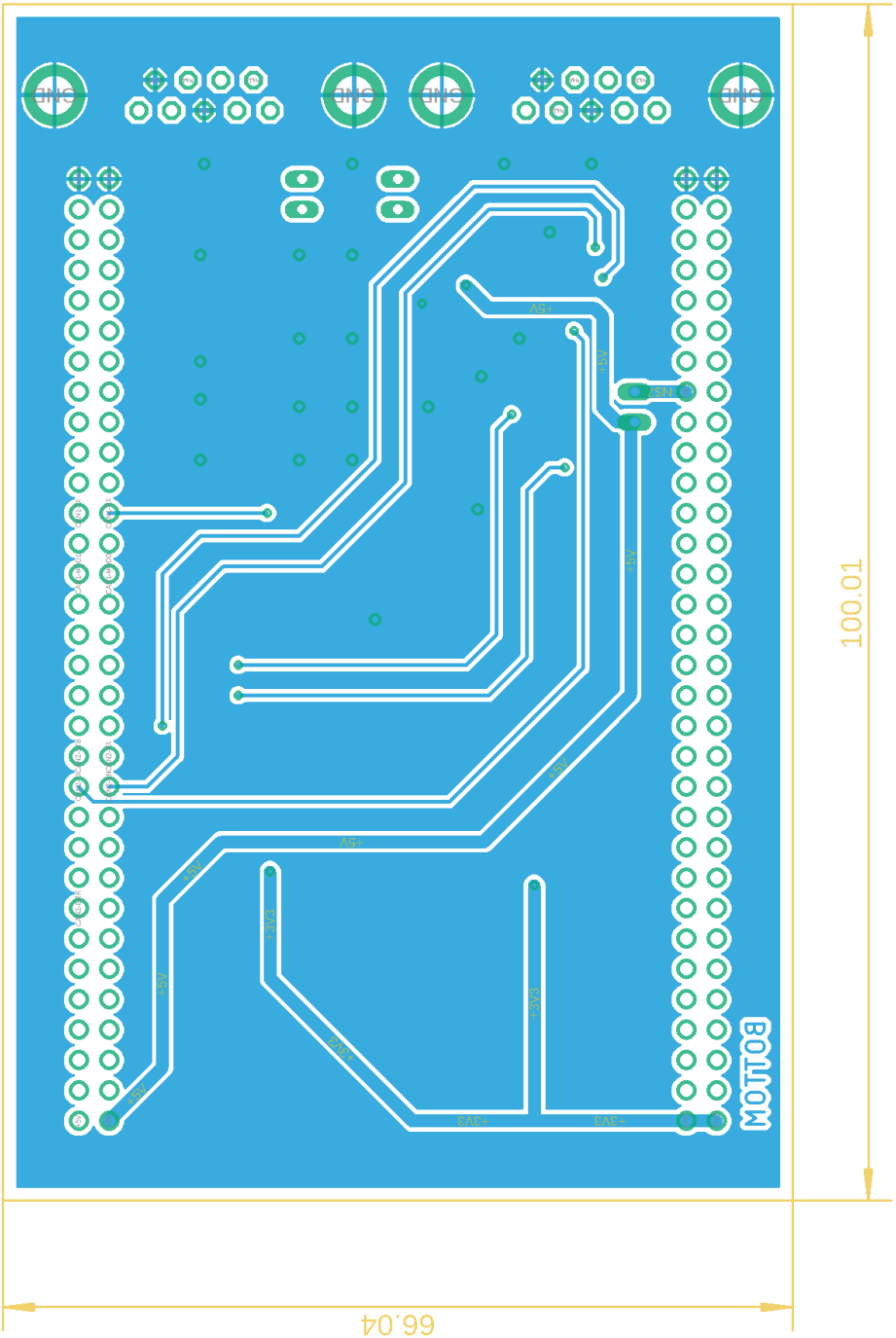


Příloha B - DPS diagnostické jednotky

Vrchní strana DPS



Spodní strana DPS



Příloha C - Seznam použitých součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1	100p	0805
C2	100n	0805
C3	100p	0805
C4	22p	0805
C5	1u	0805
C6	4,7u	0805
C7	10n	0805
C8	100n	0805
C9	100p	0805
C10	100p	0805
D1	UMBR0530	SOD103
JP1	USB device supply	2 pinový jumper
L1	47uH	0805
L2	10uH	SRN4026
P1	HEADER64	2x 32 pinová lišta
P2	HEADER64	2x 32 pinová lišta
P3	CAN SW supply	2 pinový jumper
P4	CAN HS supply	2 pinový jumper
R1	6.49k	0805
R2	1k	0805
R3	2,7k	0805
R4	2,7k	0805
R5	2,7k	0805
R6	205k	0805
R7	1,8M	0805
R8	1k	0805
R9	510	0805
R10	510	0805
U1	NCV7356D1SOIC8	SOIC8
U2	TJA1055T	SO14
U3	TPS61040SOT23	SOT23
X1	CAN SW	Canon 9 pin
X2	CAN LS	Canon 9 pin